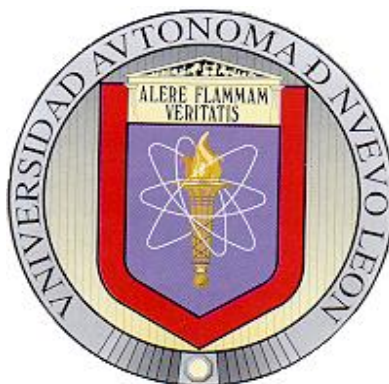


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**

**FACULTAD DE AGRONOMÍA**



**COCCINÉLIDOS COMO ENEMIGOS NATURALES DE *Dactylopius opuntiae***  
**(COCKERELL)**

**TESIS**

PARA OBTENER EL GRADO DE  
DOCTOR EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

P R E S E N T A

**DANIEL OSBALDO ASCENCIO CONTRERAS**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**

**FACULTAD DE AGRONOMÍA**



**COCCINÉLIDOS COMO ENEMIGOS NATURALES DE *Dactylopius opuntiae***

**(COCKERELL)**

**TESIS**

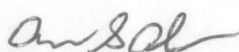
PARA OBTENER EL GRADO DE  
DOCTOR EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

**P R E S E N T A**

**DANIEL OSBALDO ASCENCIO CONTRERAS**

ESTA TESIS FUE REVISADA Y APROBADA POR EL COMITÉ PARTICULAR  
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE  
**DOCTOR EN CIENCIAS AGRÍCOLAS**

COMITÉ PARTICULAR DE TESIS



---

Dr. Omar G. Alvarado Gómez  
Director



---

Dr. Ramón Jarquin Gálvez  
Co-Director



---

Dr. José Pablo Lara Ávila  
Asesor



---

Dra. Verónica Ávila Rodríguez  
Asesora



---

Dr. Emilio Olivares Sáenz  
Asesor



---

Ph.D. Juan Antonio Vidales Contreras  
Subdirector del Área de Posgrado e Investigación

## DEDICATORIA

**Papá, Gerardo Nicolás Ascencio Fernández.** Gracias por haberme enseñado a que nunca hay límites para poder cumplir tus metas y sueños, sin importar uno siempre debe de luchar, de trabajar, de esforzarse, de ser dedicado para alcanzar el éxito. Hoy concluye una etapa de mi vida profesional, gracias por siempre apoyarme en todo. Te quiero mucho.

**Mamá, Carolina Contreras Zapata.** Gracias por todo el cariño, por todo el amor que me brindas, por esa buena vibra, por los buenos deseos de que siempre me ira bien en la vida, a pesar de que ya no soy un niño, siempre estas atenta a mí, siempre estas cuidándome y eso te lo agradezco. Te quiero mucho.

**Hermana. Claudia Carolina Ascencio Contreras.** Este logro también va dedicado a ti, eres una persona que admiro mucho, sé que todo lo que te propongas lo lograras, gracias por ese cariño tan sincero que me brindas y por estar siempre presente en cada gran momento de mi vida. Te quiero mucho.

**A mi Esposa. María Guadalupe Guerrero González.** Eres mi admiración y todo mi amor, mi inspiración día con día para ser mejor persona y siempre lograr lo que me propongo. Te agradezco por siempre estar a mi lado, por apoyarme en esta etapa de mi vida y sé que ahí estarás presente en cada logro que obtenga. Siempre serás la chispa de mi vida. Te amo.

A la familia que elegí: Francisco Manríquez, Daniel Ortega y Fabián Borbolla, gracias por su amistad, por el gran apoyo y cariño que me brindan desde que estábamos niños, al igual para: Gloria, Oscar, Mauro, Raziel, Jorge, Daniel, Eliseo, Emmanuel, Idrissa que me han acompañado en este camino.


## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada para llevar a cabo mis estudios de posgrado.

A la Subdirección de Posgrado e Investigación de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León por el apoyo brindado durante mis estudios doctorales, al igual a mis profesores que durante estos tres años me compartieron sus conocimientos y experiencias para formarme profesionalmente.

A la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí por el apoyo en el uso de instalaciones para llevar a cabo este trabajo de investigación.

A mis asesores, Dr. Omar Guadalupe Alvarado Gómez, Dr. Ramón Jarquin Gálvez, Dr. José Pablo Lara Ávila, Dra. Verónica Ávila Rodríguez y Dr. Emilio Olivares Sáenz. Gracias por brindarme todo el apoyo y tiempo para la elaboración de este trabajo, gracias por los consejos y los conocimientos que me compartieron, se les estima a todos y les agradezco todo el apoyo, paciencia y tiempo en estar atentos en mi proceso de aprendizaje y experiencia profesional, gracias por permitirme haber trabajado con ustedes.

En memoria del  Dr. José Marín Sánchez, quien formo parte de mi formación académica desde mi licenciatura hasta mis estudios doctorales, se le agradece por todos los consejos, apoyo y tiempo que me brindo.

Al Ingeniero José Luis Lizcano Aquino, Director del área de Producción de la empresa Grupo de Productores de Energías Limpias S.A. de C.V., por las facilidades para llevar a cabo las colectas en los respectivos ranchos.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

Descripción	Pág.
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	vi
ÍNDICE DE CUADROS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
RESUMEN GENERAL .....	xi
GENERAL ABSTRACT.....	xiii
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
1.1. El nopal ( <i>Opuntia ficus indica</i> ) y sus plagas.....	2
1.2. Grana silvestre ( <i>Dactylopius opuntiae</i> ) .....	5
1.2.1. Taxonomía de <i>Dactylopius opuntiae</i> .....	7
1.2.2. Biología de <i>Dactylopius opuntiae</i> .....	7
1.2.3. Control de <i>Dactylopius opuntiae</i> .....	8
1.3. Problema de Investigación.....	10
1.4. Hipótesis General.....	14
1.5. Objetivo General.....	14
1.5.1. Objetivos Específicos.....	14
1.6. Conclusiones Generales.....	15
1.7. Bibliografía.....	17

CAPÍTULO 2. CARACTERIZACIÓN DE COCCINÉLIDOS DEPRADADORES	
(COLEOPTERA: Coccinellidae) EN UN SISTEMA AGROECOLÓGICO	
SEMIDESÉRTICO POTOSINO.....	27
Resumen.....	28
Abstract.....	29
2.1. Introducción.....	29
2.2. Materiales y Métodos.....	32
2.3. Resultados y Discusión.....	35
2.4. Conclusiones.....	52
2.5. Bibliografía.....	53
CAPÍTULO 3. ASPECTOS BIOLÓGICOS DE COCCINÉLIDOS ASOCIADOS AL	
CULTIVO <i>OPUNTIA FICUS INDICA</i> EN SAN LUIS POTOSÍ, MÉXICO.....	
Resumen.....	61
Abstract.....	61
3.1. Introducción.....	62
3.2. Materiales y Métodos.....	63
3.3. Resultados y Discusión.....	65
3.4. Conclusiones.....	69
3.5. Bibliografía.....	69
CAPÍTULO 4. RESPUESTA FUNCIONAL DE <i>EXOCHOMUS CHILDRENI GUEXI</i> ,	
<i>CHILOCORUS CACTI</i> , <i>HYPERASPIS TRIFURCATA</i> E <i>HIPPODAMIA</i>	
<i>CONVERGENS</i> SOBRE <i>DACTYLOPIS OPUNTIAE</i> .....	
Resumen.....	74

Abstract.....	75
4.1. Introducción.....	76
4.2. Materiales y Métodos.....	80
4.3. Resultados y Discusión.....	82
4.4. Conclusiones.....	90
4.5. Bibliografía.....	91
CAPÍTULO 5. DINÁMICA POBLACIONAL DE <i>EXOCHOMUS CHILDRENI GUEXI</i> , <i>CHILOCORUS CACTI</i> , <i>HYPERASPIS TRIFURCATA</i> , <i>HIPPODAMIA CONVERGENS</i> Y <i>DACTYLOPIUS OPUNTIAE</i> EN CONDICIONES SEMICONTROLADAS EN CAMPO.....	
Resumen.....	99
Abstract.....	100
5.1. Introducción.....	101
5.2. Materiales y Métodos.....	102
5.3. Resultados y Discusión.....	104
5.4. Conclusiones.....	112
5.5. Bibliografía .....	112



## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Contenido	Página
1	Identificación molecular de los coccinélidos colectados en el presente estudio.....	48
2	Duración promedio (días) de los estados biológicos de cuatro coccinélidos alimentados con hembras adultas de <i>Dactylopius opuntiae</i> .....	66
3	Tabla de vida horizontal de <i>Chilocorus cacti</i> , <i>Exochomus childreni guexi</i> , <i>Hippodamia convergens</i> e <i>Hyperaspis trifurcata</i> alimentados con hembras adultas de <i>Dactylopius opuntiae</i> .....	67
4	Análisis de varianza de la respuesta funcional de los coccinélidos.....	82
5	Interacción Especie*Estadio.....	83
6	Comparación de medias de la interacción de Especie*Estadio.....	83
7	Comparación de medias de las especies en cada estadio.....	84
8	Interacciones Estadío*Relación.....	84
9	Comparación de Medias de la interacción de Estadío*Relación...	85
10	Comparación de medias de los estadios en cada relación	85
11	Correlación de Spearman del nivel de infestación, insectos benéficos y factores climáticos.....	105

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
1	<i>E. childreni guexi</i> .....	36
2	<i>Hyperaspis trifurcata</i> .....	39
3	<i>Chilocorus cacti</i> .....	42
4	<i>Hippodamia convergens</i> .....	45
5	Amplificaciones de las regiones 18S y 28S visualizadas mediante electroforesis.....	47
6	Árbol filogenético 18S y 28S elaborado con el programa Mega 7.0 con datos propios y accesiones del NCBI.....	51
7	Árbol filogenético 18S y 28S con el servidor Phylogeny.fr con la inferencia Bayesiana (Mr. Bayes) con datos propios y accesiones del NCBI.....	52
8	Correlación entre el nivel de infestación y los insectos benéficos....	106
9	Nivel de infestación correlacionada con: humedad relativa, precipitación y temperatura.....	107
10	Insectos benéficos correlacionada con temperatura, humedad relativa y precipitación.....	108

## RESUMEN GENERAL

*Dactylopius opuntiae*, conocida como grana o cochinilla silvestre, es la plaga más recurrente del nopal verdura en San Luis Potosí. Desde hace varios años se han observado depredadores con características similares a los coccinélidos atacando a la cochinilla silvestre en parcelas libres de químicos en los municipios de Soledad de Graciano Sánchez y en Santa María del Río, S.L.P. en donde se realizaron colectas de coccinélidos para llevar a cabo la presente investigación. Las identificaciones taxonómicas, se llevaron a cabo durante los meses de enero-abril 2019, y los resultados a nivel morfológico confirmaron la presencia de *Exochomus childreni guexi* e *Hyperaspis trifurcata* los cuales fueron corroborados molecularmente hasta el nivel de género, y *Chilocorus cacti* e *Hippodamia convergens* hasta el nivel de especie. Se estudiaron aspectos biológicos y se obtuvieron los ciclos de vida en cada estadio, y se elaboraron las tablas de vida de cada especie. La duración de los ciclos completos para *C. cacti*, *E. childreni guexi*, *H. convergens* y *H. trifurcata* fueron 53-69, 59-70, 60-77 y 64-75 días, respectivamente. Para las cuatro especies se encontró que la etapa de huevo a larva I tiene un valor bajo de transición, en comparación con estadios de larva III donde hay mejores valores de sobrevivencia. Se comprobó la respuesta funcional que tienen los enemigos naturales hacia la grana silvestre, siendo estos en estado larval más efectivos que en estado adulto. *C. cacti* fue el mejor depredador en comparación con *H. convergens*, ya que este último presentó menos voracidad hacia la grana silvestre. Durante el tiempo en observación de la dinámica poblacional en condiciones semicontroladas, se presentaron 246

coccinélidos en total y se encontró una correlación positiva fuerte entre el nivel de infestación y los insectos benéficos. El mes en donde se presentó la mayor presencia de *D. opuntiae* e insectos entomófagos fue agosto.

## GENERAL ABSTRACT

*Dactylopius opuntiae*, scarlet or wild mealybug is the most recurrent pest of the nopal vegetable in San Luis Potosí. For several years, predators with characteristics like coccinellids have been observed attacking the wild mealybug in chemical-free plots in the municipalities of Soledad de Graciano Sánchez and Santa María del Río, S.L.P. where collections of coccinellids were made to carry out the investigations. The taxonomic identifications were carried out during the months of January-April 2019 and the results at the morphological level confirmed the presence of *Exochomus childreni guexi* and *Hyperaspis trifurcata*, which were molecularly corroborated to the genus level and *Chilocorus cacti* and *Hippodamia convergens* until the specie level. The study of biological aspects where life cycles were obtained in each stage, and the life tables of each species were elaborated, a duration of the complete cycle was obtained for *C. cacti*, *E. childreni guexi*, *H. convergens* and *H. trifurcata* as 53-69, 59-70, 60-77 and 64-75 days respectively. For the four species it was found that in the stage from egg to larva I it has a low transition value, compared to larval stages III where there are better survival rates. The functional response of natural enemies towards wild scarlet was verified, these being more effective in the larval stage than in the adult stage. *C. cacti* was the best predator compared to *H. convergens*, as it was less voracious towards wild scarlet. During the time of observation of the dynamic population under semi-controlled conditions, a total of 246 coccinellids were present and a strong positive correlation was obtained between

"level of infestation and beneficial insects". The month with the highest presence of *D. opuntiae* and entomophagous insects was August.

# **CAPÍTULO 1**

## **INTRODUCCIÓN GENERAL**

## CAPÍTULO 1

### INTRODUCCIÓN GENERAL

#### 1.1. EL NOPAL (*Opuntia ficus indica*) Y SUS PLAGAS

La familia de las cactáceas tiene más de 1500 especies de las cuales al menos 850 crecen en nuestro país y se estima que el 80% son endémicas. Aproximadamente 350 especies pertenecen al género *Opuntia*, y de estas, solamente 100 especies se encuentran en México (Bravo, 1978; López *et al.*, 2013). *Opuntia* spp debido a su reproducción se considera como el género de cactáceas con mayor distribución (Reyes *et al.*, 2006).

México es uno de los centros de origen del nopal (*Opuntia* spp). El consumo de los nopalitos y tunas (tallos, frutos y flores) en este país es ancestral (Peña *et al.*, 2012). Cuenta una gran adaptación al déficit de humedad y a los climas semidesérticos, convirtiéndose en un recurso con potencial para el desarrollo de plantaciones comerciales en muchas partes de México (Reyes *et al.*, 2005).

Las características morfológicas y fisiológicas de las cactáceas le confieren la habilidad para soportar temperaturas mayores a los 40°C y con poca disponibilidad de agua, ya que tienen eficiencia para almacenaje de agua y las hojas se desarrollaron como espinas para disminuir la evapotranspiración (Nobel y de la Barrera, 2003).

México es el principal productor de nopal verdura en el mundo y el consumidor más importante en su forma fresca y procesada (Peña *et al.*, 2012). Las cactáceas se



localizan principalmente en los estados de Baja California, Puebla, Hidalgo, Querétaro, San Luis Potosí, Zacatecas, Durango, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas (Alanís y Velazco, 2008).

*Opuntia ficus indica* (L) Miller, después de años de selección y domesticación, es la especie más utilizada para la producción de frutos en México y el mundo; y de las más importantes para la producción de nopal verdura que se consumen principalmente en México (Flores y Gallegos, 1995).

Los nopales se utilizan como verdura en la alimentación humana, forraje, sustrato, producción de grana cochinilla, medicina y elaboración de productos cosméticos (Beltran *et al.*, 2009).

Además de México, también se siembra nopal en países de América como: Argentina, Brasil, Estados Unidos, Bolivia, Perú y Chile (Haile *et al.*, 2002). La producción de nopal verdura en nuestro país en el ciclo 2019 fue 891,821 ton, con rendimiento total de 1002 ton y en el estado de San Luis Potosí se obtuvo una producción de 2462 ton, para un rendimiento 8.70 ton/ha (SIAP, 2019). El cultivo de nopal en México, está destinado a producción de tunas y nopalitos que se consumen como fruta y verdura (Márquez *et al.*, 2012).

México es uno de los centros de origen y domesticación de *O. ficus indica* (Griffith 2004), y también es el centro de origen de sus fitófagos y de los enemigos naturales de estos. Por los incrementos poblacionales de algunos fitófagos, se han catalogado como plagas y como problemas principales en el cultivo (Mena, 2011).

Existen más de 160 especies de insectos dañinos a las plantas de nopal, aunque no son exclusivas de esta especie. Las plagas se han adaptado en general a las

condiciones climáticas de sus plantas hospederas. La mayoría de las etapas adultas de los insectos, los escarabajos y lepidópteros son activos únicamente en la noche y el desarrollo de sus fases inmaduras lo realizan dentro de los tejidos internos del cladodio, ramas y tallos de los nopales, el 75% de los insectos que se alimentan del nopal lo hacen internamente (Zimmermann y Granata, 2002). Las palomillas barrenadoras de la familia Pyralidae son los insectos más abundantes en el nopal, contiene más de 50% de especies de plagas. La palomilla del nopal (*Cactoblastis cactorum*), el gusano cebrá del nopal (*Olycella nephelepasa*), el gusano blanco del nopal (*Megastes cyclades*) y el barrenador de las uniones de los cladodios (*Metapleura potosi*) son cuatro de los insectos lepidópteros más importantes (Zimmermann y Granata, 2002).

Los picudos del nopal (*Metamasius spinolae*), el picudo del tiro de munición (*Gertaeckeria* spp) y el picudo de la areola (*Cylindrocopturus biradiatus*) son los tres más importantes insectos cuculionoideos plaga en nopal (Mena, 2013). Las chinches más comunes son las chinches apestosas, la grana cochinilla, trips y escamas. Las chinches coreidas del género *Chelinidea* y *Narnia*, así como la chinche roja mírida (*Hesperolabops*) son buenos ejemplos de chinches chupadoras. Estos insectos representan menos riesgo de daño a las plantas de nopal comparados con los lepidópteros, picudos y escarabajos de antenas largas o la cochinilla grana (Mena, 2013).

Hay un número reducido de especies de moscas que se alimentan de plantas de nopal. *Asphondylia* es la más importante ya que se alimenta de las semillas del nopal, mientras que *Mayetiola*, *Lonchaea* y *Dasiops* viven en los cladodios y causan poco

daño. Los trips son comúnmente encontrados en huertos de nopales, especialmente *Neohydatothrips opuntiae*, dañando la epidermis de los cladodios y frutos tiernos en desarrollo. Finalmente, las escamas del nopal (*Diaspis echinocacti*) y la escama dura (*Lepidosaphes* spp) (Zimmermann y Granata, 2002).

La grana cochinilla del nopal (*Dactylopius opuntiae*) es quizás la plaga más importante de huertos de nopal en todo el mundo. En Brasil, existen problemas de infestación de 100,000 has de nopal cultivado para producción de forraje, disminuyendo su productividad a un 80% (Lobos *et al.*, 2013). En México, es el mayor factor biótico que limita la producción de tunas (Mena, 2011).

## **1.2. GRANA SILVESTRE (*Dactylopius opuntiae*)**

La familia de insectos Dactyloppidae al paso del tiempo desarrolló una evolución en sus plantas hospederas de las especies de cactáceas, principalmente con el género *Opuntia*. En México se reporta una asociación de *Dactylopius* spp con 72 especies de *Opuntia* y 3 especies de *Nopalea* (Portillo, 2008). La grana silvestre, *D. opuntiae* Cockerell (Hemiptera; Dactyloppidae) es considerada como el principal problema fitosanitario del nopal.

En México y otras partes del mundo, su control es complicado debido entre varios aspectos a la presencia de una secreción cerosa, que les proporciona a las hembras un camuflaje, resistencia a factores ambientales, protección ante enemigos naturales, reduce efectividad de la acción de los insecticidas, cuentan con altas tasas de reproducción y ciclos de vida cortos, más aparte la presencia de su ácido carminico, el cual tiene propiedades anti alimentarias y de repelencia (Ramírez *et al.*,

2019). *Dactylopius spp.* son un grupo mono genérico de insectos que pertenecen a la familia Dactylopiidae (Hemiptera: Coccoidea) (Perez y Kosztarab, 1992). Esta familia tiene 11 especies de escamas blandas, nativas del continente americano (Spodek *et al.*, 2014). Los hábitos alimenticios de las escamas blandas están especializados en *Opuntias*, la especie *D. opuntiae* sobresale por su amplio rango de nopales hospederos y está presente en todas las zonas nopaleras, ubicándose en 22 estados del país (Chávez *et al.*, 2011).

La grana cochinilla pertenece al grupo de los insectos escama, posee un cuerpo blando, plano u oval, cubierto de una sustancia polvorosa o algodonosa secretada por glándulas especiales. Las hembras no poseen alas y miden unos 5 mm de largo, estas se agrupan en colonias que dan la apariencia de algodonosa blanca sobre el tejido vegetal. Los machos se logran distinguir de las hembras por que cuentan con alas y son de un menor tamaño, en su caso las hembras penetran su aparato bucal en el tejido del cactus para succionar la savia y quedan inmóviles hasta completar su ciclo de vida (Vargas, 1988). Para su control se ha utilizado insecticidas entre los que destacan, malatión, paratión metílico y triclorogon (Badii y Flores, 2001; Galloway y Handy 2003), pero no existen insecticidas autorizados en México para emplearse en este insecto (Vanegas *et al.*, 2010). Existen otras alternativas para combatir a *D. opuntiae* a través de métodos alternativos como: cepillado mecánico de cladodios, cuando las poblaciones son bajas (Mena y Rosas, 2007), uso de biodegradables (Palacios *et al.*, 2004), utilización de extractos vegetales y aceites esenciales (Vázquez *et al.*, 2011), aspersión de silicio orgánico e inorgánico mezclado con jabones biodegradables (Mena, 2013); además de la utilización de enemigos

naturales, como agentes de control destacando *Chilocorus cacti* (Flores *et al.*, 2013, Ascencio *et al.*, 2018), *Hyperaspis trifurcata* (Ramírez *et al.*, 2013, Ascencio *et al.*, 2020) y *Sympherobius barberi* (Pacheco *et al.*, 2011).

### 1.2.1 Taxonomía de *Dactylopius opuntiae*

La familia Dactylopiidae posé un solo género: *Dactylopius*. De Lotto (1974) enlisto nueve especies las cuales son: *D. tomentosus* (Lamark), *D. coccus* Costa, *D. austrinus* De Lotto, *D. confertus* De Lotto, *D. salmianus* De Lotto, *D. confusus* (Cockerell), *D. opuntiae* (Cockerell), *D. zimmermanni* De Lotto y *D. ceylonicus* (Green), esta especie citada en México.

*D. opuntiae* (Cockerell) se ubica en la siguiente clasificación. Reino: Animal, Phylum: Arthropoda, Subphylum: Atelocerata, Clase: Insecta, Orden: Hemiptera, Sub Orden: Stenorrhyncha, Superfamilia: Coccoidea, Familia: *Dactylopius*, Especie: *D. opuntiae* (Cockerell). *D. opuntiae* esta se distingue de otras especies por presencia de poros en el extremo de la parte dorsal, los cual incrementan en el antepenúltimo segmento del abdomen, presenta sedas dorsales que son delgadas y largas (De Lotto, 1974).

### 1.2.2. Biología de *Dactylopius opuntiae*

Los individuos de esta especie presentan dimorfismo sexual y los estadios entre machos y hembras son diferentes, las hembras pasan por las siguientes fases: huevo, ninfa uno y dos, adulto áptero y en el macho las fases son: huevo, ninfa uno y dos, prepupa, pupa y adulto alado, a partir de las ninfas II los machos y hembras presentan diferencias físicas (Vanegas, 2009). Las ninfas hembras son gregarias,

estas presentan fototropismo positivo y poseen sedas dorsales más largas que los machos, lo que permiten transportarse y dispersarse a través de corrientes de aire, en las ninfas de los machos presentan un fototropismo negativo y completan su desarrollo encima de la capa algodonosa de las hembras adultas (Mow *et al.*, 1982, Vanegas, 2009). Las hembras adultas poseen un cuerpo oval con antenas cortas de siete segmentos, patas cortas y carecen de alas, estas colonizan cladodios y quedan sujetas mediante su aparato bucal tipo chupador y pasa el resto de su vida succionando la savia (Rodríguez *et al.*, 2005). La vida de los machos adultos es efímera, solo vive por cierto tiempo para fecundar a la hembra y que produzca huevos.

### **1.2.3. Control de *Dactylopius opuntiae***

De acuerdo con el SENASICA, no hay insecticidas registrados para el cultivo de nopal verdura. Sin embargo, los productores utilizan diferentes insecticidas altamente tóxicos para el control de la grana, lo cual genera resistencia, intoxicaciones y residualidad en el producto fresco destinado al consumo humano y animal (Ramírez *et al.*, 2018).

El daño por esta plaga debilita la planta, las pencas se caen y los frutos lo cual pierde su valor comercial. A nivel de planta, una estrategia clave es la poda en invierno, con el fin de eliminar el exceso de cladodios, las cuales se deben de destruir o dar de alimento al ganado, esto ya que puede contener grana cochinilla o algún otro insecto (Mena, 2013). El control de esta plaga se basa principalmente en el uso de insecticidas convencionales, aunque hay estudios sobre métodos alternativos, como

aceites minerales, insecticidas botánicos (Borges *et al.*, 2010) y jabones (Palacios *et al.*, 2004). Del lado del control biológico hay investigaciones sobre uso de hongos entomopatógenos (Santos *et al.*, 2011). Las investigaciones sobre insectos entomófagos son escasas y se refieren a estudios de identificación y evaluación de parámetros poblacionales (Flores *et al.*, 2013). Los enemigos naturales de dactilópodos incluye siete familias de insectos, de los cuales los coccinélidos presentan más especies depredadoras (Rodríguez *et al.*, 2010).

En México se han caracterizado algunos de sus enemigos naturales como un avance para implementarlos en programas de control biológico hacia *D. opuntiae* (Vanegas *et al.*, 2010, 2016, Pacheco *et al.*, 2011, Cruz *et al.*, 2016, Ascencio *et al.*, 2018 y 2020).

Existen diferentes agentes biológicos que se dividen en parasitoides, patógenos y depredadores. Los depredadores denominados entomófagos, son el grupo más importante, siendo las familias Anthocoridae, Nabidae, Reduviidae (Orden: Hemiptera), Asilidae, Syrphidae (Orden: Diptera), Chrysopidae (Orden: Neuroptera), y Coccinellidae (Orden: Coleoptera) (Miró y González, 2015).

Los insectos depredadores se alimentan de todos los estados de desarrollo de sus presas (Salas y Salazar, 2003). Los depredadores introducidos se usan para el control de plagas exóticas, mientras que los nativos son de importancia en la eliminación de plagas nativas y exóticas (Nicholls, 2010).

En el control biológico existen tres estrategias las cuales son: clásica, de conservación y aumentativa. La estrategia clásica, es la introducción del enemigo natural para regular la plaga, y restablecer el equilibrio en el campo. La conservación,

pretende modificar el entorno y manipular el hábitat para favorecer la actividad de los enemigos naturales que se encuentren presentes; y la aumentativa, consiste en la cría masiva de los enemigos naturales para posteriormente realizar una liberación en campos para un control de plagas (Holmes y Mandjiny, 2016).

El orden Coleoptera es el grupo más importante de depredadores para el control biológico tanto de plagas exóticas como nativas. Estos depredadores ayudan a suprimir las plagas por medio de liberaciones aumentativas en invernaderos, inoculaciones estacionales en otros cultivos y mediante su conservación en áreas alrededor de los cultivos (Nicholls, 2010). Se encuentran distribuidos por todo el mundo, con más de 4500 especies descritas (Zúñiga, 2011).

Los depredadores asociados a dactilópodos incluye cinco familias de insectos, de los cuales Coccinellidae es el grupo con mayor riqueza específica, varias de ellas distribuidas en Norteamérica (Rodríguez *et al.*, 2010). En México, los coccinélidos más abundantes son *Chilocorus cacti* e *Hyperaspis trifurcata* (Vanegas *et al.*, 2010). La ineficiencia de los insecticidas causa abandono de las plantaciones de nopal, permitiendo que los enemigos naturales se restablezcan haciendo evidente la acción depredadora de algunos coccinélidos en nopaleras sin aplicaciones de control químico (Luna 2011).

### 1.3. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La lista de plagas asociadas a *Opuntia ficus indica* incluye más de 150 especies, de las cuales sólo 11 se consideran plagas primarias en México (Pacheco *et al.*, 2011). Entre estas, *Dactylopius opuntiae* (Cockerell), conocida como grana o cochinilla silvestre, destaca por su voracidad (Carneiro *et al.*, 2017), se encuentra en más de



20 estados infestando 15 especies de cactáceas, siendo la plaga del nopal verdura más importante de México.

En San Luis Potosí la incidencia de cochinilla silvestre se presenta de abril a septiembre (García *et al.*, 2008), el tiempo entre generaciones varia de 35-45 días (Pacheco *et al.*, 2011). El daño en nopal lo ocasionan las hembras, tanto ninfas como adultas ya que, al extraer savia, provocan amarillamiento, el debilitamiento y muerte de la planta (Vanegas *et al.*, 2010). En el caso del macho una vez que emerge se dirige hacia las hembras para copular, permanece vivo de dos a cuatro días y después muere (Marín y Cisneros, 1977).

En el estado de San Luis Potosí los municipios más afectados por *D. opuntiae* son San Luis Potosí, Santa María del Río y Soledad de Graciano Sánchez, con pérdidas de hasta un 50% de la superficie sembrada cuando se presentan las condiciones adecuadas para el desarrollo de la plaga (INIFAP, 2016). Aunque existen recomendaciones químicas para el control de la cochinilla silvestre, en México existen restricciones para su uso, ya que no existen insecticidas autorizados para emplearse en este insecto (Vanegas *et al.*, 2010). El control biológico es una alternativa para reducir riesgos, se considera un establecimiento de interacción entre insectos benéficos y los posibles dañinos dentro de un agroecosistema, esto para limitar la amplitud de las fluctuaciones poblacionales (Perfecto *et al.*, 2010). El fomento de reservorios de biorreguladores es el cuidado de plantas o sitios donde se mantengan poblaciones de enemigos naturales o biorreguladores. Es una práctica que contribuye a regular las poblaciones de plagas sin tener que adquirir estos organismos externamente (Vázquez y Gonzálvez, 2007). La evaluación de atributos

biológicos de un enemigo natural, proporcionan resultados los cuales se interpretan y sugieren poner en práctica para el control biológico (Price, 1972). Las identificaciones morfológicas de las especies de los enemigos naturales no siempre se realizan por ser poco precisas (Letourneau y Bothwell, 2008). La identificación de especies con un enfoque molecular recientemente ha tenido gran impacto dentro de las clasificaciones biológicas y de la descripción más precisa de la biodiversidad y está sirviendo como base para interpretar procesos evolutivos y de dispersión de organismos (Lanteri *et al.*, 2002). Se sabe que existe un conjunto de enemigos naturales de la cochinilla que actúan de manera diferencial en función a su densidad (Vanegas *et al.*, 2010, Cruz *et al.*, 2016).

La importancia de conocer el ciclo biológico del enemigo natural *in situ* es esencial para establecer las bases de una propuesta de control biológico y por ello las tablas de vida son herramientas que contribuyen a analizar e interpretar factores de mortalidad (Naranjo, 2001) y estimar el potencial de crecimiento poblacional. La presencia de enemigos naturales representa una alternativa al uso de insecticidas y de sus efectos negativos al agroecosistema (Bermúdez y Martínez, 2016). La conservación de los enemigos naturales como estrategia de control biológico, se considera de importancia, pero habrá que profundizar en aspectos ecológicos y del manejo del cultivo (Vázquez, 2002). El control puede ser ejercido por los efectos mecánicos de la lluvia, la toxicidad de un plaguicida, etc. Cuando la población de un fitófago plaga es reducida rápida y sustancialmente por medio de un control, los efectos de dicho control son generalmente cortos y seguidos por una rápida resurgencia de la plaga (Vázquez *et al.*, 2010). En los ecosistemas naturales, las

poblaciones de insectos fitófagos están en constante interacción con los factores abióticos (climáticos y otros) y bióticos (enemigos naturales) que caracterizan dichos sistemas, mediante procesos complejos que se influyen mutuamente y que determinan la dinámica de las poblaciones de dichos fitófagos (Vázquez *et al.*, 2008). La respuesta funcional, es la relación entre la tasa de consumo de un individuo y la densidad del alimento, se refiere a las diferencias en los comportamientos del enemigo natural en función a los cambios de densidad de la presa (Rodríguez y Arredondo, 2007). Para Pervez (2005), son herramientas relevantes que proveen información sobre la eficiencia que tienen al consumir presas conforme va aumentando o disminuyendo su densidad poblacional, en tanto la dinámica poblacional es un elemento importante en el manejo de plagas, estos estudios permiten conocer la oscilación de la población a través de un periodo de tiempo, información que permite realizar estimaciones de daño y planear estrategias de combate para abatir las poblaciones de la plaga durante los meses de mayor incidencia. La regulación implica una supresión densidad-dependiente la cual se intensifica y se relaja de acuerdo con la densidad de la plaga, el efecto de regulación es el mantenimiento de la plaga y su enemigo natural en equilibrio dentro de niveles inferiores y superiores por un tiempo indefinido. Por ello se considera que los factores de mortalidad bióticos, como los depredadores son típicamente reguladores, ya que actúan de forma densidad-dependiente, lo que constituye las bases ecológicas del control biológico (Vázquez *et al.*, 2008).

## 1.4. HIPÓTESIS GENERAL

Los coccinélidos *Exochomus childreni guexi*, *Chilocorus cacti*, *Hyperaspis trifurcata* e *Hippodamia convergens* son insectos depredadores potenciales como enemigos naturales para el control biológico por conservación contra la grana silvestre *Dactylopius opuntiae* (Cockerell), están presentes en las nopaleras del estado de San Luis Potosí, y su eficiencia depende de sus ciclos de vida, tablas de vida, respuesta funcional y dinámica poblacional.

## 1.5. OBJETIVO GENERAL

Detectar e identificar a los coccinélidos predominantes en las nopaleras del estado de San Luis Potosí, establecer sus aspectos biológicos (ciclos de vida y tablas de vida), y determinar su potencial como enemigos naturales sobre *Dactylopius opuntiae* mediante el conocimiento de sus respuestas funcionales y dinámica poblacional.

### 1.5.1. Objetivos Específicos

- Identificación morfológica y molecular de los coccinélidos presentes en las nopaleras bajo estudio.
- Determinar los ciclos de vida y tablas de vida de los coccinelidos en condiciones de laboratorio.
- Determinar la respuesta funcional de los coccinélidos como agentes de control biológico.
- Determinar la dinámica poblacional de *D. opuntiae* y de los coccinélidos en condiciones semicontroladas en campo.

## 1.6 CONCLUSIONES GENERALES

Se identificaron cuatro enemigos naturales de *Dactylopius opuntiae* en nopal verdura en las localidades y bajo las condiciones de este estudio utilizando claves morfológicas y secuencias de ADN. Con el apoyo de la identificación molecular se pudo corroborar género y especie de los coccinélidos, pudiendo descartar algún error al momento de realizar la identificación morfológica, aparte podemos obtener mediante las filogenias una descripción de la biodiversidad, dado que brindan información de la distribución de la diversidad genética entre los taxones estudiados y los de referencia. Las especies encontradas correspondieron a *E. childreni guexi*, *H. trifurcata*, *C. cacti* y *H. convergens*.

La información obtenida sobre aspectos biológicos (ciclos y tablas de vida) durante este estudio, sugieren efectividad de su reproducción en condiciones de laboratorio, lo cual permitiría su manejo promisoriamente en crías artesanales dentro de programas de control biológico como depredadores potenciales de *D. opuntia* en nopal verdura. Los resultados de la depredación en condiciones controladas, sustentan la capacidad de voracidad de los cuatros coccinélidos sobre *D. opuntiae*. En los estadios larvales se presentaron mejores resultados comparados con la etapa adulta, al igual cuando la proporción de entomófagos supera a la presa. Esto indica que los enemigos naturales descritos de *D. opuntiae*, están correlacionados con su población, ya que se observó que cuando hay mayor densidad también aumenta la cantidad de depredadores. Los factores climáticos, pueden ser determinantes en la reproducción y aumento considerable de *D. opuntiae* y a consecuencia también en la presencia de los coccinélidos, siendo un factor importante la temperatura para la

conservación de estos.

Por lo descrito se pudo corroborar la hipótesis del trabajo, en la que los coccinélidos mencionados presentaron un potencial positivo como insectos depredadores hacia la grana, siendo eficientes en sus estadios larvales y adultos. En condiciones de campo también pueden ser considerados una opción viable, ya que se demostró que al inicio y al aumentar la infestación de *D. opuntiae* en los cladodios, se observa presencia de los enemigos naturales, los cuales también aumentan proporcionalmente al aumento de las poblaciones de su presa. Este aumento gradual presa-depredador no atenta contra el equilibrio de la biodiversidad local. Los resultados obtenidos de este trabajo contribuyen a confirmar que una opción para promover la conservación de los coccinélidos o incluso incrementar sus poblaciones, es dotarlas de recursos alimenticios con plantas proveedoras de néctar y polen, así como favorecer sitios de oviposición y refugio. Evitar el uso de agroquímicos, ya que los sitios de actuación cumplieron con dichas características. Con ello se aportan elementos para considerar a la cría artesanal como una opción viable y efectiva manera de disponer de coccinélidos depredadores de *D. opuntia* a un bajo costo, pero siempre y cuando se cumplan los requerimientos de temperaturas para su reproducción, alimento con otros insectos no benéficos y tener cuidado especial al momento de manipular los huevecillos, entre otras cuestiones para su producción y posterior liberación en estadio larval, para lo cual deberán confirmarse las cantidades a liberar, frecuencia y lugares específicos de la liberación.

## 1.7. BIBLIOGRAFÍA

- Alanís-Flores, G. J., y Velasco-Macías, C. G. 2008. Importancia de las cactáceas como recurso natural en el Noreste de México. *Ciencia y Sociedad* 9:1-7.
- Ascencio, C. D. O., Jarquín, G. R., y Lara, Á. J. P. 2018. Identificación de coccinélidos nativos de San Luis Potosí, para el control biológico de *Dactylopius* spp. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 9(6): 1283-1287.
- Ascencio, C. D. O., Alvarado G. O. G., Lara, Á. J. P., Jarquín G. R., y Ávila R. V. 2020. Caracterización de coccinélidos depredadores (Coleóptera: Coccinellidae) en un sistema agroecológico semidesértico. *Folia Entomológica Mexicana* 6(1): 1-8.
- Badii, M. H. and Flores, A. E. 2001. Prickly pear cacti pests and their control in México. *Florida Entomologist* 84(4): 503-505.
- Beltrán, O. M. C., Oliva, C. T., Gallardo, V. T., and Osorio, R. G. 2009. Ascorbic acid, phenolic content, and antioxidant capacity of red, cherry yellow and white types of pitaya cactus fruit *Stenocereus stellatus* (Riccobono). *Agrociencia* 43:153-162.
- Bermúdez, Y. P. Martínez, V. L. 2016. Primer registro de *Hippodamia convergens* y *Cycloneda sanguinea* (Coleoptera: Coccinellidae), como depredadores de *Melanaphis sacchari* (Hemiptera: Aphididae), en sorgo, en Morelos, México. *Acta Agrícola y Pecuaria* 2(2): 51-53.
- Borges, L. R., Santos, D. C., Falcao, H. M., y Silva, D. M. P. 2010. Use of biodegradable products for the control of *Dactylopius opuntiae* (Hemiptera:

- Dactylopiidae) in cactus pear. **In** VII International Congress on Cactus Pear and Cochineal, pp.379-386.
- Bravo, H. 1978. Las Cactáceas de México. Vol. I, 2ª edición. Universidad Nacional Autónoma de México, 743p.
- Carneiro, L. M. P., Tiago, P. V., Medeiros, L. V., da Costa, A. F., and de N. T. Oliveira. 2017. *Dactylopius opuntiae*: control by the *Fusarium incarnatum-equiseti* species complex and confirmation of mortality by DNA fingerprinting. *Journal of Pest Science* 90(3): 925-933.
- Chávez, M. C. K., Tecante, A., Casas, A., and Claps, L. E., 2011. Distribution and habitat in México of *Dactylopius Costa* (Hemiptera: Dactylopiidae) and their cacti hosts (Cactaceae: *Opuntioideae*). *Neotropical Entomology* 40: 62-71.
- Cruz, R. J. A., González, M. E., Villegas, G. A. A., Rodríguez, R. M. L., and Mejía, L. F. 2016. Autonomous biological control of *Dactylopius opuntiae* (Hemiptera: Dactylopiidae) in a prickly pear plantation with ecological management. *Environmental Entomology* 45: 642-648.
- De Lotto G. 1974. On the status and identity of the cochineal insects (Homoptera: Dactylopiidae). *Journal of the Entomological Society of South Africa* 37:167-193.
- Flores, V. C. A., y Gallegos, V. C. 1995. La producción de tuna en México. **In**: Pimienta, B. E., Neri, L. C., Muñoz, A., y Huerta, M. F. A. (eds.). Memorias del VI Congreso Nacional y IV Congreso Internacional sobre el conocimiento y Aprovechamiento del Nopal. Universidad de Guadalajara, Guadalajara, Jalisco, México. 274-278.



- Flores, A., Olvera, H., Rodríguez, S., and Barranco, J. 2013. Predation potential of *Chilocorus cacti* (Coleoptera: Coccinellidae) to the prickly pear cacti pest *Dactylopius opuntiae* (Hemiptera: Dactylopiidae). *Neotropical Entomology* 42:407-411.
- Galloway, T., and Handy, R. 2003. Immunotoxicity of organophosphorous pesticides. *Ecotoxicol.* 345-363.
- García, H. J. E., Méndez, G., Rössel, K., Talavera, M., y Hernández, R. 2008. El nopal tunero en San Luis Potosí, situación actual y recomendaciones técnicas. Colegio de Postgraduados. Folleto para productores No. 2. 1ª edición. Montecillo, Texcoco, Estado de México 35p.
- Griffith, M. P. 2004. The origins of an important cactus crop, *Opuntia ficus indica* (Cactaceae): new molecular evidence. *American Journal of Botany* 91: 1915-1921.
- Haile, M., Belay, T., and Zimmerman, H. G. 2002. Current and potencial use of cactus in Tigray, Nothern Ethiopia. In: Nefzaoui, A. and P. Inglese (Eds.). Proceedings of the IV International Congress of Cactus pear and Cochineal. *Acta Horticulturae* 581: 75-86.
- Holmes, L., and Mandjiny, S. 2016. Biological control of agriculture insect pests. *European Scientific Journal*, Special edition, 228-237.
- INIFAP. 2016. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Disponible en: <https://www.gob.mx/inifap> (Fecha de consulta: 8-5-2019).

- Lanteri, A., Loiácono, M. S., y C. Margaría. 2002. Aportes de la biología molecular a la conservación de los insectos. Marco Sistemático del proyecto Pribes 2002. *Red Iberoamericana de Biogeografía y Entomología Sistemática*. 2: 207-220.
- Letourneau, D. K., and Bothwell, S. G. 2008. Comparison of organic and conventional farms: challenging ecologists to make biodiversity functional. *Frontiers in Ecology and the Environment* 6(8): 430-438.
- Lobos, E., Passos da S. D.M., Mena, J., Logarzo, G. y Varone, L. 2013. Principales plagas en *Opuntia*. *Cactus Newsletter* 13: 137–158.
- López, C. C. J., Malpica, V. A., López, C. J., García, P. E., y Sol, S. Á. 2013. Crecimiento de *Opuntia ficus indica* (L.) Mill. en la zona central de Veracruz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 4: 1005-1014.
- Luna, V. J. 2011. Producción invernal de nopal verdura. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional del Noreste. Campo Experimental San Luis. S.L.P. Folleto para productores No. 52.
- Marín, L., y Cisneros, F. 1977. Biología y morfología de la cochinilla del carmín, *Dactylopius coccus* Costa (Homoptera: Dactylopiidae). *Revista Peruana de Entomología* 20: 115-120.
- Márquez, B. S. R., Torcuato, C. C., Almaguer, V. G., Colinas, L. M. T. y Khalil, G. A. 2012. El sistema productivo del nopal tunero (*Opuntia albicarpa* y *O. megacantha*) en Axapusco, Estado de México. Problemática y alternativas. *Revista Chapingo, Serie Horticultura* 18: 81-93.

- Mena, C. J. 2011. Insectos plagas del nopal: como tomar decisiones con un enfoque de manejo integrado. *Revista Salud Pública y Nutrición*, Edición especial. 65-74.
- Mena, C. J. 2013. Tecnologías de manejo integrado para los insectos plaga del nopal tunero en el Altiplano Mexicano. In Gallegos, V. C., Méndez, G. S. De J., y Mondragón, J. C. (eds.). Producción sustentable de tuna en San Luis Potosí, Colegio de Postgraduados. Fundación Produce San Luis Potosí. San Luis Potosí, México. 125–161.
- Mena, C. J., y Rosas, S. 2007. Guía para el manejo integrado de las plagas del nopal tunero. INIFAP, Campo Experimental Zacatecas. Calera de Víctor Rosales, Zacatecas, México. Pp.16-18.
- Miró, A. J., y González, G. 2015. Primer listado de las especies de coccinélidos del departamento de Madre de Dios, Perú. *Revista Peruana de Entomología* 50: 39- 44.
- Mow, V. C., Gunn, B. H., and Walter, G. H. 1982. Wind dispersal and settling of first-instar crawlers of the cochineal insect *Dactylopius austrinus* (Homoptera: Coccoidea: Dactylopiidae). *Ecological Entomology* 7(4): 409-419.
- Naranjo, S. E. 2001. Conservation and evaluation of natural enemies in IPM systems for *Bemisia tabaci*. *Crop Protection* 20(9): 835-852.
- Nicholls, C. I. 2010. Contribuciones ecológicas para renovar las fundaciones del manejo de plagas. Universidad de Murcia. Murcia, España. *Agroecología* 5: 7-22.

- Nobel, P. S. and De la Barrera, E. 2003. Tolerances and acclimation to low and high temperatures for cladodes, fruits and roots of a widely cultivated cactus *Opuntia ficus indica*. *New Phytologist* 157: 271-279.
- Pacheco, R. I., Lomelí, F. R. J., Rodríguez, L. E., y Ramírez, D. M. 2011. Ciclo de vida y parámetros poblacionales de *Symphorobius barberi* Banks (Neuroptera: Hemerobiidae) criado con *Dactylopius opuntiae* Cockerell (Hemiptera: Dactylopiidae). *Acta Zoológica Mexicana* 27:325-340
- Palacios, M. C., Nieto, H. R., Llanderal, C. C., y González, H. H. 2004. Efectividad biológica de productos biodegradables para el control de la cochinilla silvestre *Dactylopius opuntiae* (Cockerell) (Homoptera: Dactylopiidae). *Acta Zoológica Mexicana* 20:99-106.
- Peña, V. C. B., Trejo, L. C., Arroyo, P. V. B., Sánchez, U. A., and Balois, M. R. 2012. Diversity of unavailable polysaccharides and dietary fiber in domesticated nopalito and cactus pear fruit (*Opuntia* spp.). *Chemistry and Biodiversity* 9: 1599-1610.
- Pérez, G. G., and Kosztarab, M. 1992. Biosystematics of the family Dactylopiidae (Homoptera: Coccinea) with emphasis on the life cycle of *Dactylopius coccus* Costa. Studies on the Morphology and Systematics of Scale Insects. *Virginia Agricultural Experiment Station* 16:90.
- Perfecto, I., Vandermeer, J., y Philpott, S. M. 2010. Complejidad ecológica y el control de plagas en un cafetal orgánico: develando un servicio ecosistémico autónomo. *Agroecología* (5): 41-51.

- Pervez, A. O. 2005. Functional responses of coccinellid predators: An illustration of a logistic approach. *Journal of Insect Science* 5 (1): 5.
- Portillo, L. 2008. *Dactylopius opuntiae*: una especie en peligro de extinción. In: Lllander, C., D.H. Zetina, A.L. Viguera y L. Portillo (Eds.). Grana cochinilla y colorantes naturales. Colegio de Postgraduados. México. Pp. 69-73.
- Price, P. W. 1972. Methods of sampling and analysis for predictive results in the introduction of entomophagous insects. *Entomophaga* 17(2): 211-222.
- Ramírez, B. I. I., López, M. V., Juárez, L. P., Guillén, S. D., Alia, T. I., Rivera L. I., Saldarriaga, N, H.A., y Jiménez, G. D. 2018. Identificación de envases vacíos de plaguicidas en plantaciones de nopal verdura, *Opuntia ficus indica* (L.) Mill. (Cactaceae), en Morelos, México. *Acta Agrícola y Pecuaría* 4:18-25.
- Ramírez, S. C. J., Morales, F. F. J., Alatorre, R. R., Mena, C. J., y Méndez, G. S. D. J. 2019. Efectividad de hongos entomopatógenos sobre la mortalidad de *Dactylopius opuntiae* (Hemiptera: Dactylopiidae) en condiciones de laboratorio. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 10:1-14.
- Ramírez, A. S., Santana, O. N., y Solís, A. J. F. 2013. Biología de *Hyperaspis trifurcata* Schaeffer (Coleoptera: Coccinellidae) en condiciones de laboratorio. *Dugesiana* 20: 99-103.
- Reyes, A. J. A., Aguirre, R. J. R., and Hernández, H. M. 2005. Systematic notes and a detailed description of *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. (Cactaceae). *Agrociencia* 39: 395-408.

- Reyes, A. J. A., Aguirre, R. J. R., and Valiente, B. A. 2006. Reproductive biology of *Opuntia*: A review. *Journal of Arid Environments* 54:549-585.
- Rodríguez del B., L. A., Arredondo, B. H. C. 2007. Teoría y Aplicación del Control Biológico. *Sociedad Mexicana de Control Biológico, México*. 303 p.
- Rodríguez, L. C., Faúndez, E. H., and Niemeyer, H. M. 2005. Mate searching in the scale insects, *Dactylopius coccus* (Hemiptera: Coccoidea: Dactyloppidae). *European Journal of Entomology* 102: 305-306.
- Rodríguez, L. E., Lomelí, F. J. R., y Vanegas, R. J. M. 2010. Enemigos naturales de la grana cochinilla del nopal *Dactylopius coccus* Costa (Hemiptera: Dactylopiidae) In: L. Portillo y A. L. Viguera (Coord). Conocimiento y Aprovechamiento de la Grana Cochinilla. Publicación FAO, 1-12.
- Salas, M., y Salazar, E. 2003. Importancia del uso adecuado de agentes de control biológico. *Acta Universitaria* 13:29-35.
- Santos, P. de S., de Silva, M. A. Q., Monteiro, A. C., and Gava, C.A.T. 2011. Improving photoprotection of *Beauveria bassiana* conidia for biological control of the cactus pest *Dactylopius opuntiae* in the semiarid region northeast of Brazil. *Biocontrol Science and Technology* 21: 893-902.
- SIAP, 2019. Servicio de información Agroalimentaria y Pesquera <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>. Fecha de consulta (15/08/2020).
- Spodek, M., Ben, D. Y., Protasov, A., Carvalho, C. J., and Mendel, Z. 2014. First record of *Dactylopius opuntiae* (Cockerell) (Hemiptera: Coccoidea: Dactylopiidae) from Israel. *Phytoparasitica* 42: 377-379.

- Vanegas, R. J. M. 2009. Dinámica poblacional de *Dactylopius opuntiae* (Cockerell) y sus enemigos naturales en Tlalnepantla, Morelos. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 110p.
- Vanegas, R. J. M., Lomeli, F. J. R., Rodríguez, E., Mora, G., and Valdez, J. M. 2010. Enemigos naturales de *Dactylopius opuntiae* (Cockerell) en *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller en el centro de México. *Acta Zoológica Mexicana* 26: 415-433.
- Vanegas, R. J. M., Rodríguez, L. E., Lomeli, F. J. R., González, H. H., Pérez, P. A., and Mora, A. G. 2016. Biology and life history of *Hyperaspis trifurcata* feeding on *Dactylopius opuntiae*. *BioControl* 61: 691-701.
- Vargas, G. F. N. 1988. Biología de la cochinilla del carmín *Dactylopius coccus* Costa, bajo condiciones de laboratorio en Pampa del Arco Ayacucho. Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho, Perú. 72p.
- Vázquez, M. L. L. 2002. Avances del control biológico de *Bemisia tabaci* en la región Neotropical. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología*, (66), 82-95.
- Vázquez, M. L.L., y Gonzálvez, F. E. L. 2007. Bases para el manejo agroecológico de plagas en sistemas agrarios urbanos. Ed. CIDISAV. 42-54.
- Vázquez, M. L. L., Alfonso, J., Matienzo, Y., y Veitía, M. 2008. Conservación y manejo de enemigos naturales de insectos fitófagos en los sistemas agrícolas de Cuba. Ed. CIDISAV. 202.
- Vázquez, M. L. L., Caballero, F. S., Pérez, A., Gil, M. J., Armas, G. J. L., Rodríguez, F. A., y Fumero, M. M. 2010. Diagnóstico de la utilización de entomófagos y

entomopatógenos para el control biológico de insectos por los agricultores en Cuba. *Fitosanidad*, 14(3) 159-169.

Vázquez, G. M., Garabito, E. S., Tabares, V. J., and Castillo, H. G. 2011. Essential oils from aromatic plant species and insecticidal effects on *Dactylopius opuntiae* (Cockerell) (Homoptera: Dactylopiidae) in mobile juveniles. *Acta Horticulturae* 894: 215-223.

Zimmermann, H.G. and Granata, G. 2002. Insect pests and diseases. In Nobel, P.S. (Ed.) *Cacti: Biology and Uses*. Berkeley, California, USA, University of California Press. Pp.235–254.

Zúñiga, A. 2011. Los coccinélidos (Coleoptera: Coccinellidae) de la región de Magallanes: nuevos registrados y distribución regional. *Anales Instituto Patagonia* 39: 59-71.



**CAPÍTULO 2**

**CARACTERIZACIÓN DE COCCINÉLIDOS DEPREDADORES (COLEOPTERA:  
COCCINELLIDAE) EN UN SISTEMA AGROECOLÓGICO SEMIDESÉRTICO  
POTOSINO**

Una parte de este capítulo fue publicado en la Revista *Folia Entomológica Mexicana* (nueva serie), 6(1): 1–8, 2020.

## CAPÍTULO 2

### CARACTERIZACIÓN DE COCCINÉLIDOS DEPRADADORES (COLEOPTERA: COCCINELLIDAE) EN UN SISTEMA AGROECOLÓGICO SEMIDESÉRTICO POTOSINO

#### RESUMEN

La cochinilla silvestre, *Dactylopius opuntiae*, es la plaga más recurrente del nopal verdura en San Luis Potosí. Desde hace varios años se han observado depredadores con características similares a los coccinélidos atacando a la cochinilla silvestre en parcelas libres de plaguicidas en los municipios de Soledad de Graciano Sánchez y en Santa María del Río, S.L.P. La presente investigación tuvo por objetivo identificar los enemigos naturales de *D. opuntiae* existentes en la zona de estudio. Durante los meses de enero-abril 2019 se realizaron colectas de coccinélidos en parcelas de nopal verdura, con observaciones directas de depredación de cochinilla silvestre, para su identificación mediante observaciones morfológicas y la secuenciación parcial de los genes ribosomales 18S y 28S ARNr. Los resultados de identificación a nivel morfológico confirmaron la presencia de *Exochomus childreni guexi*, *Hyperaspis trifurcata*, *Chilocorus cacti* y *Hippodamia convergens* los cuales fueron corroborados molecularmente a nivel de género en las primeras dos especies, y a nivel de especie en las otras dos.

## ABSTRACT

The wild mealybug, *Dactylopius opuntiae*, is the most recurrent pest of the nopal vegetable in San Luis Potosí. For several years, predators with characteristics like coccinellids have been observed attacking wild mealybugs in pesticide-free plots in the municipality of Soledad de Graciano Sánchez and Santa María del Río, S.L.P. The objective of the present work was to identify the natural enemies of *D. opuntiae* existing in the study area. During the months of January-April 2019, coccinellid collections were carried out in plots of prickly pear cactus, with direct observations of wild mealybug predation, for identification by observing morphology and sequencing of the 18S y 28S ARNr ribosomal genes. The identification results at the morphological level confirmed the presence of *Exochomus childreni guexi*, *Hyperaspis trifurcata*, *Chilocorus cacti* and *Hippodamia convergens* which were molecularly corroborated to the genus level for the first and second species, and at specie level in the others.

## 2.1. INTRODUCCIÓN

San Luis Potosí cuenta con una superficie sembrada de nopal verdura, *Opuntia ficus indica* (L.) Mill. de 300 ha, con una producción en el estado de 2,493 toneladas con rendimientos de 8.61 ton/ha (SIAP, 2018). *Dactylopius opuntiae* (Cockerell), conocida como grana o cochinilla silvestre, destaca por su voracidad (Carneiro *et al.*, 2017), se encuentra en más de 20 estados infestando 15 especies de cactáceas, siendo la plaga del nopal verdura más importante de México. En el estado de San Luis Potosí

los municipios más afectados por *D. opuntiae* son el propio San Luis Potosí, Santa María del Río y Soledad de Graciano Sánchez, con pérdidas de hasta 150 ha cuando se presentan las condiciones adecuadas para el desarrollo de la plaga (INIFAP, 2016). *D. opuntiae* también se ha registrado con categoría de plaga en al menos 19 países, destacado Brasil, España, Turquía, Israel y Marruecos (Chávez *et al.*, 2011, Spodek *et al.*, 2014). Esta plaga ocasiona daño succionando la savia, lo que produce clorosis y disminución en el rendimiento de nopal, una infestación de este insecto mayor al 75 % en la superficie de los cladodios causa la muerte de la planta (Vanegas *et al.*, 2010).

Aunque existen recomendaciones químicas para el control de la cochinilla silvestre, en México existen restricciones para su uso, ya que, en este cultivo se realizan cortes aproximadamente cada siete días, lo que puede ocasionar que el consumidor ingiera residuos químicos, cuando no se respetan los intervalos de seguridad (COFEPRIS, 2016). De lo anterior surge la propuesta de buscar alternativas para el control de la plaga sin recurrir a los agroquímicos (Perfecto *et al.*, 2010). En ese sentido, en países como Israel y Brasil se han identificado especies de coccinélidos como *Chilocorus cacti* L. e *Hyperaspis trifurcata* Schaeffer, depredando *D. opuntiae* y se han iniciado programas de control biológico (Vanegas *et al.*, 2016).

En San Luis Potosí, paralelamente a la presencia del problema de cochinilla silvestre, se han observado depredadores con características similares a los coccinélidos que atacan a la cochinilla silvestre en el municipio de Soledad de Graciano Sánchez (Jarquin *et al.*, 2013) y se cuenta con evidencias de la presencia de *C. cacti*, en parcelas de nopal verdura en Santa María del Río (Ascencio *et al.*, 2018). En otras

regiones de México, también existen un conjunto de enemigos naturales de la cochinilla silvestre, que se reportan actuando de manera diferencial en función a su densidad (Cruz *et al.*, 2016).

La familia Coccinellidae es de los grupos del Orden Coleóptera con mayor importancia bioreguladora, conocidos por la capacidad depredadora de sus larvas y adultos, por lo cual, son preferidos en el control biológico de plagas (Giorgi *et al.*, 2009). Aunque el género *Hyperaspis* es señalado por la literatura en varios cultivos y malezas, solamente la especie *H. trifurcata* se reporta asociada al cultivo del nopal silvestre y es de los depredadores más abundantes para *D. opuntiae* (Espinosa, 2001). En Villa de Milpa, Ciudad de México, se registró a la grana como una de las especies que ocasiona mayor daño al nopal verdura y a *H. trifurcata* como uno de los principales depredadores y enemigos naturales de esta escama (Sánchez *et al.*, 2002).

Otro de los géneros de coccinélidos más estudiados, sobretodo en Estados Unidos de América y Canadá es *Exochomus*, existiendo registros de 29 especies en América, de las cuales 11 se encuentran en México (Rodríguez, 2018). Rodríguez *et al.*, (2019) mencionaron la presencia de *E. childreni guexi*, depredando *Melanaphis sacchari* (Zehntner) en sorgo y se ha registrado presencia de *Exochomus* sin identificar las especies en Texas, EE. UU. (Villanueva y Sekula, 2014). *C. cacti* es una especie reportada como un potencial depredador de *D. opuntiae* que se alimenta de hembras, ninfas y huevos. Este coccinélido, se ha utilizado en diversos programas como agente de control biológico contra otras plagas (Vanegas *et al.*, 2010). *H. convergens* es conocida como depredadora de diferentes especies de otros insectos

de cuerpo blando como ninfas de moscas, pulgones, áfidos y huevecillos de diferentes insectos, esta especie controla plagas en forma natural en los cultivos agrícolas (Roig *et al.*, 2014).

La identificación de especies con un enfoque molecular recientemente ha tenido gran impacto dentro de las clasificaciones biológicas y de la descripción más precisa de la biodiversidad y está sirviendo como base para interpretar procesos evolutivos y de dispersión de organismos (Lanteri *et al.*, 2002).

Considerado lo anterior, si bien existen algunos reportes relacionados con identificación de depredadores de *Dactylopius*, éstos presentan poca información, por lo que representa un área de oportunidad para ampliar el conocimiento de los enemigos naturales existentes en el entorno potosino y valorar su impacto como potenciales agentes de control biológico. Por lo anterior el objetivo de este trabajo fue determinar la ubicación taxonómica mediante la identificación morfológica y molecular de los coccinélidos encontrados depredando cochinilla silvestre, en dos de las zonas productoras más importantes de nopal verdura de San Luis Potosí.

## **2.2. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.2.1. Muestreo**

Durante los meses de enero-abril de 2019, se realizaron colectas de coccinélidos en el municipio de Santa María del Río, S.L.P. (22° 11' 22.9'' N y 100° 52' 36.3'' O a 1777 msnm) y en el municipio de Soledad de Graciano Sánchez, S.L.P. (21° 37' 50.4'' N y 100° 43' 48'' O a 1861 msnm). Se muestrearon áreas que contaban

con antecedentes de presencia y mayor infestación de *D. opuntiae*, para ello se utilizó la metodología de Vanegas *et al.*, (2010), la cual plantea tomar una muestra de 10 plantas al azar y de estas, cuarenta ejemplares de cada especie entomófaga, algunos de ellos se conservaron en etanol al 70 % y otros vivos en cámaras de cría. Los coccinélidos en alcohol se utilizaron para la identificación morfológica y el material vivo se destinó para la identificación molecular.

### **2.2.2. Identificación morfológica**

La identificación de los coccinélidos se realizó mediante ilustraciones y claves taxonómicas tomando como base la publicación de Gordon (1985). En esta fase se utilizó un microscopio estereoscopio marca Carl Zeiss®, Discovery V20.

### **2.2.3. Identificación molecular**

El proceso de identificación molecular de los organismos colectados se realizó mediante el análisis de un fragmento de 933 pb del gen ribosomal 18S rRNA, y otro de 323 pb del gen ribosomal 28S rRNA. La extracción de ADN genómico de cada uno de los organismos se realizó con un protocolo basado en el reactivo DNAzol® de la compañía Molecular Research Center Inc. (Cincinnati, OH USA). En el cual, en un tubo Eppendorf de 1.5 ml se agregaron 500 µl de DNAzol y el organismo para ser triturado, se agitó durante cinco minutos con el vórtex, después se agregaron 300 µl de cloroformo y se volvió agitar durante cinco minutos, se centrifugó a 12,000 rpm durante diez minutos. La fase acuosa se pasó a un tubo nuevo y se le añadieron 225 µl de etanol absoluto, se mezcló por inversión durante cinco minutos y se reposó en un congelador a -10 °C durante diez minutos. Nuevamente se volvió a centrifugar a

12,000 rpm durante cinco minutos y después se decantó. Se añadieron 500 µl de etanol al 70 % y se volvió a centrifugar a 10,000 rpm durante cinco minutos y se decantó. Finalmente se dejó secar a temperatura ambiente y se añadieron 50 µl de agua estéril y el ADN se almacenó en congelador hasta su uso. El ADN extraído se utilizó como molde para la Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR), para amplificar un fragmento de 933 pb del gen 18S rRNA utilizando los oligonucleótidos 18S ai y 18S bi; y del gen 28S rRNA, un fragmento de 323 pb utilizando los oligonucleótidos 28S a y 28S b (Whiting *et al.*, 1997).

Las condiciones de ciclado fueron: desnaturalización inicial 95 °C 5 min; 35 ciclos a 94 °C durante 45 seg; 50 °C 45 seg; 72 °C durante 1 min 30 seg; extensión final de 72 °C durante 5 min. Los productos de amplificación fueron separados mediante electroforesis en un gel agarosa al 1.5 % con buffer TBE 1X, teñidos con bromuro de etidio (1 µl/ml.) y fueron visualizados en un fotodocumentador ENDURO™ GDS (Labnet International, Inc) con luz UV. Los productos de PCR de tamaño esperado fueron purificados y secuenciados en el Laboratorio Nacional de Biotecnología Agrícola, Médica y Ambiental (LANBAMA) del IPICYT. Las secuencias que se obtuvieron fueron analizadas mediante búsqueda de homología utilizando BLASTn (Basic Local Alingment Search Tool) del NCBI (National Center for Biotechnology Information). Las secuencias de las regiones 18S y 28S fueron alineadas en el programa Sea View con el algoritmo Muscle (Gouy *et al.*, 2010). Con el programa de Mega 7.0 (Tamura *et al.*, 2013) se determinó el modelo de sustitución y se calculó el árbol filogenético con mil permutaciones bootstrap para medir significancia de ramas,



y con el servidor Phylogeny.fr también se construyó el árbol con la inferencia Bayesiana (Mr. Bayes).

## 2.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 2.3.1. Identificación morfológica de los depredadores colectados.

**2.3.1.1. *Exochomus childreni guexi*.** En el caso de este coccinélido se observaron rasgos morfológicos característicos del género y la especie. Para ello se consideró la extensión de clípeo, segmentos de la antena, características de coloración, puntos y poros en los élitros, tamaño, color de pronotum y dimorfismo sexual. De acuerdo con lo descrito en las claves taxonómicas consultadas el coccinélido referido fue *E. childreni guexi* (Fig. 1).

El primer criterio para identificar a la subfamilia Chilacorinae fue por la característica de que el clípeo está extendido hasta los ojos y antena reducida a 10 segmentos o menos (Fig. 1A). En la tribu sólo Chilacorini se encuentra en el hemisferio occidental (Fig. 1B). Para el género *Exochomus*, por sus características de coloración, puntos en los élitros y tamaño de acuerdo con las características que menciona Gordon (1985), (Fig. 1C). Especie *childreni guexi* por la proporción de su cuerpo en que los machos tienen las patas y el ángulo anterolateral del pronotum no negro sino más bien cobrizo y no presenta puntuación de los poros en los élitros (Fig. 1D).

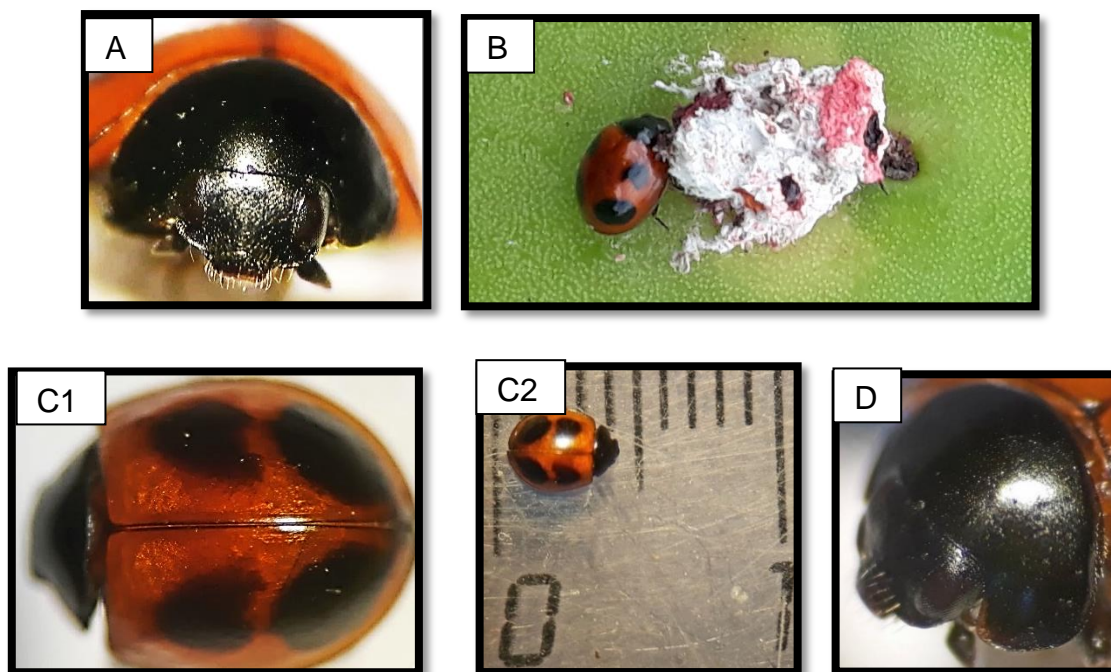


Figura 1. *E. childreni guexi*. A) Extensión del clípeo debajo de los ojos, creando una especie de máscara, B) Tribu Chilocorini, C) Características del género *Exochomus* y D) Características de especie *childreni guexi*.

Recientemente Hesler (2020), documentó un nuevo registro estatal en Missouri, EE. UU. de *E. childreni guexi*, al encontrar diferentes patrones de color y puntos en los élitros, describiendo en unos una coloración anaranjada y solamente un punto ubicado entre el margen elítral y el ápice en cada élitro, el resto según sus descripciones presentaron características como los coccinélidos colectados en el presente estudio, coloración marrón rojiza, dos puntos en cada élitro, longitud de 2.5 a 3 mm y un pronotum color negro, dichas características también mencionadas por Gordon (1985). La distribución previamente conocida de *E. childreni guexi* se extendió desde Louisiana hasta el sur de Texas (Gordon, 1985). El nuevo registro para Missouri es atribuido a su voracidad para alimentarse de pulgones y de otras

presas (Hesler, 2020). Tanto en San Luis Potosí como en el estado de Colima y Morelos se ha reportado *E. childreni guexi* siendo registrados como depredador de *Melanaphis sacchari* y cuenta con registros de presencia en Texas, pero aún no se cuenta con la identificación de la subespecie (Villanueva y Sekula, 2014).

En descripciones de Rodríguez *et al.* (2019), mencionan que *E. childreni guexi* tiene parecido con color y forma de *E. childreni childreni* Mulsant, sin embargo, este coccinélido no presenta dimorfismo sexual, en comparación con *E. childreni guexi*. *E. marginipennis* LeConte, presenta el mismo color y dimorfismo sexual que *E. childreni guexi*, pero no hay diferencias notables en la genitalia, no obstante, es posible diferenciarlos por la forma ovalada que presenta *E. marginipennis* (Gordon, 1985). Otras diferencias que se encuentran en *E. childreni guexi* en relación con otras especies muy parecidas, son que *E. insatiabilis* presenta élitros completamente anaranjados, mientras que *E. marginipennis* también los presenta en una coloración anaranjada, pero con dos manchas en cada élitro y cada mancha se presenta de mayor tamaño (Gordon, 1985). En *E. childreni guexi* se menciona que en el macho presenta un ángulo anterolateral en el pronoto y patas de color amarillo y en hembras el ángulo es anterolateral y el pronoto negro, además las patas son oscuras (Rodríguez *et al.*, 2019, Gordon, 1985, Casey, 1899). Santos (2007), menciona características de color anaranjado pálido, un punto en sentido transversal ovalado negro cerca del ápice por la sutura del margen externo, clípeo debajo de los ojos creando un estilo de mascara, cabeza y pronoto pálido en el macho, longitud de 2.6 a 2.9 mm y anchura de 2 a 2.4 mm. Gordon (1985), menciona que se encuentran algunas especies del género *Exochomus* las cuales no pueden ser diferenciados

entre ellos por medio de genitalia y hay mucho parecido morfológico entre ellos. El presente trabajo registro además de las características morfológicas, la evidencia de depredación de *D. opuntiae*.

**2.3.1.2. *Hyperaspis trifurcata*.** El segundo coccinélido fue identificado morfológicamente por rasgos de su género y especie, los cuales fueron la presencia de pubescencia en la superficie dorsal y talla pequeña menor a 2 mm, forma del cuerpo, tamaño y numero de segmentos en las antenas, forma y tonalidad de fémures, línea poscoxal, coloración del cuerpo y puntos en los élitros, características de cabeza, pronoto y palpus maxiliar. Por lo cual el coccinélido colectado referido correspondió a *H. trifurcata* de acuerdo con las claves taxonómicas (Fig. 2).

El criterio para identificar a la subfamilia Scymninae, es que tienen superficie pubescente dorsal, talla pequeña; antena muy corta, generalmente de 2/3 o menos de la longitud de la cabeza; cada fémur casi cilíndrico, robusto, ocasionalmente aplanado (Fig. 2A). Para la tribu Hyperaspini por su forma ovalada o redondeada, aplanada o hemisférica, longitud inferior a 5.0 mm, cabeza alargada, inclinada hacia abajo, antena de 10 segmentos, margen lateral del pronoto redondeado (Fig. 2B). Para el género *Hyperaspis*, por su línea poscoxal en el primer esternón abdominal incompleto, un margen posterior del metastemo que desciende abruptamente entre la coxa y la marisma lateral (Fig. 2C). En especie *trifurcata* por el tamaño, por el color y forma de los élitros, teniendo característica, en unión de élitros como una M en color negro, en el protórax color negro y en el ángulo anterolateral color amarillento de acuerdo con Gordon (1985) (Fig. 2D).

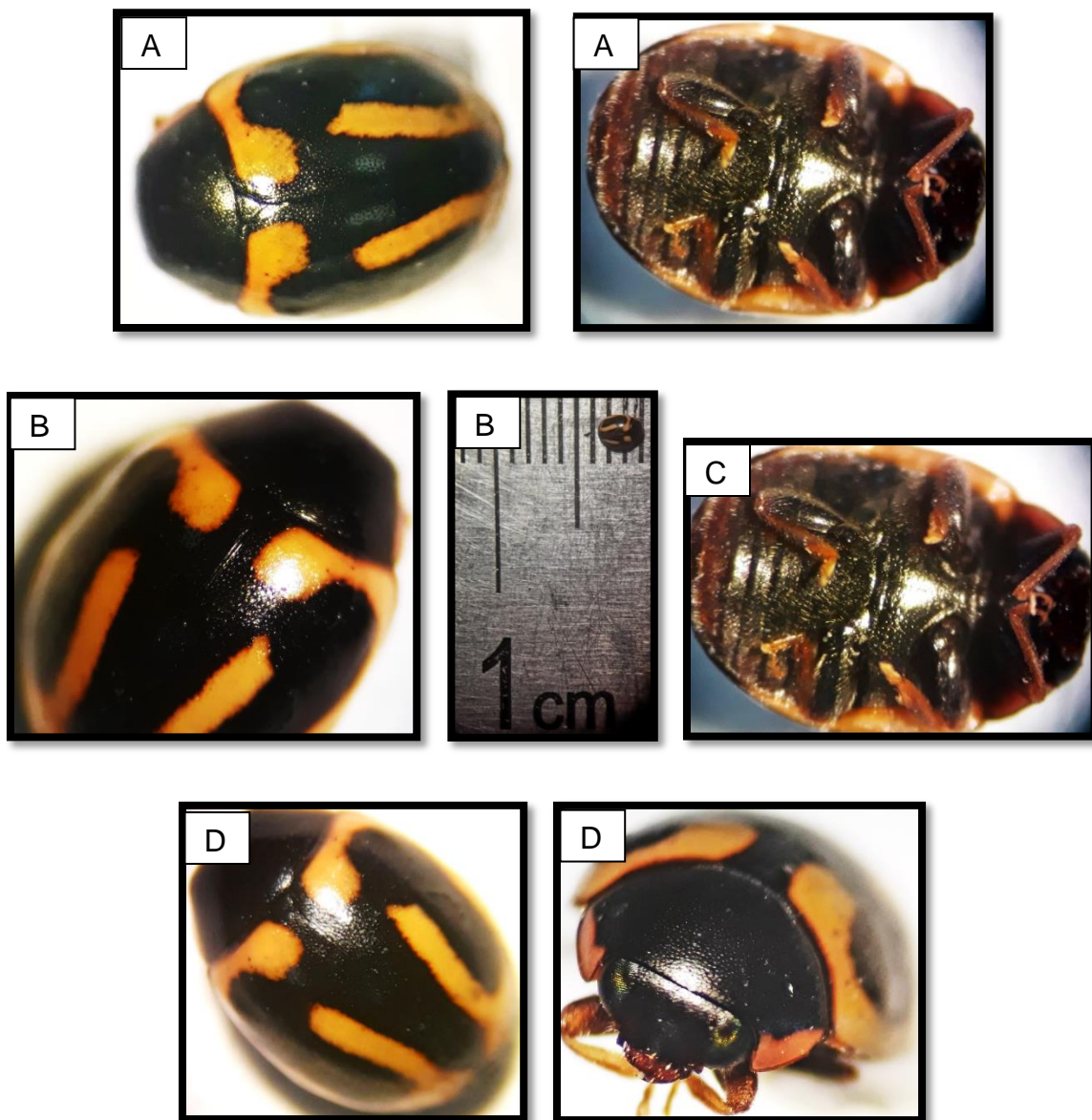


Figura 2. *Hyperaspis trifurcata*. A) Subfamilia Scymninae, B) Tribu Hyperaspini, C) Género *Hyperaspis*, D) Especie *trifurcata*

Al respecto, Gordon (1985) menciona que el género *Hyperaspis* presenta una línea poscoxal en el primer esternón abdominal incompleto, margen posterior del metastemo abruptamente entre coxa y la marisma lateral, antena corta de 10 segmentos de alrededor de dos tercios o menos a la longitud de la cabeza, línea poscoxal en el primer esternón abdominal, características las cuales se observaron en nuestros coccinélidos. Una de las características visibles de *H. trifurcata* es la coloración amarillenta y que en la unión de sus élitros forman una “M” observándolo del ápice a la cabeza de color negro, presenta un protórax color negro y un ángulo anterolateral amarillento, fémures casi cilíndricos y robustos (Gordon, 1895), lo cual fue similar a lo observado en este entomófago. Así mismo en los élitros se encontró un amarillamiento blanquecino con líneas negras formando una “W” o “M” que depende del punto de observación, pronoto negro y un tamaño inferior de 2.5 mm coincidiendo plenamente con Casey (1899). Ramírez y Santana (2015), mencionan que es escasa la información sobre la biología de *H. trifurcata* en México. Los enemigos naturales que están más asociados al cultivo del nopal verdura tanto en México como en EE. UU., son *H. trifurcata* y *C. cacti*, los cuales son los más abundantes y se tienen reportes como depredadores de *D. opuntiae* (Gilreath y Smith, 1988; Vanegas *et al.*, 2016). Gordon (1985) registró para México ocho especies del género *Hyperaspis*, las cuales fueron colectadas en diferentes malezas y cultivos de diferentes estados. Se reporta que *H. trifurcata* solo se encuentra asociada con nopal silvestre y cultivado en los estados de Chihuahua, Durango, Jalisco, México y Sonora (Espinosa, 2001). También se cuenta con reportes de

presencia en Argentina, Bolivia, Chile, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela (Gordon y Canapari, 2008).

**2.3.1.3. *Chilocorus cacti*.** El tercer coccinélido se identificó observando su clípeo extendido hasta los ojos, creando una especie de mascara y una antena reducida de diez segmentos o menos. Se empleó el carácter de su línea postcoxal, la cual se observó claramente, y presentó en el clípeo un ribete en el borde anterior y está ligeramente recortado. Se observó el criterio en las manchas y círculos rojos y por su pecho rojizo. Por lo cual el coccinélido colectado referido correspondió a *C. cacti* de acuerdo con las claves taxonómicas (Fig.3).

En *Chilocorus*, se identificó su subfamilia Chilcorinae, observando su clípeo extendido hasta los ojos, creando una especie de mascara y una antena reducida de diez segmentos o menos (Fig. 3A). El criterio para clasificar la tribu de esta subfamilia que consta de tres, Telsimiini, Platynaspini, y Chilcorini, pero sólo Chilcorini se encuentra en el hemisferio occidental (Fig. 3B). Para el género *Chilocorus* se empleó el carácter de línea postcoxal, la cual se observó claramente, presenta en el clípeo un ribete en el borde anterior y está ligeramente recortado (Fig. 3C). Para la especie *cacti* el criterio se basó en las manchas y círculos rojos y por su esterno rojizo, de acuerdo con lo señalado por Gordon (1985) (Fig. 3D).



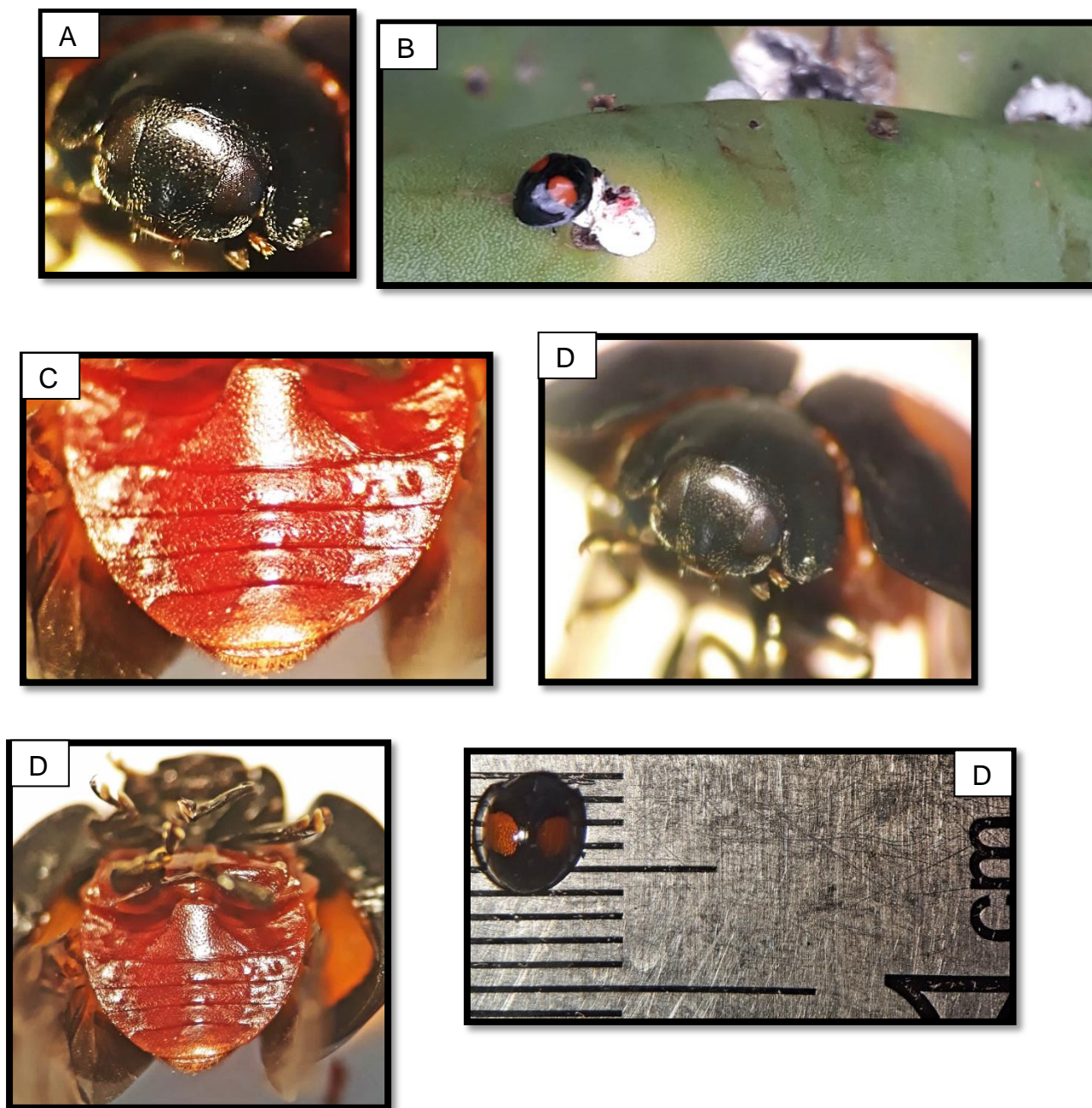


Figura 3. ***Chilocorus cacti***. A) Extensión del clipeo debajo de los ojos, creando una especie de máscara. B) Tribu Chilocorini, C) Línea postcoxal, D) Características de *Chilocorus cacti*.



Santos (2007) mencionó que el género *Chilocorus* presenta un borde anterior del pronoto que es llamativamente cóncavo, con sus costados muy prolongados, la base de los élitros es bastante más ancha que la del pronoto, ventralmente las epipleuras son anchas y descienden hasta el ápice y el metasterno tiene depresiones para alojar los fémures. Diferentes autores coinciden en las características del adulto, lo cual es un insecto de forma ovalada y convexa, presenta una longitud promedio de 5 mm y anchura de 4.5 mm, es de color negro excepto por la mancha amarilla o roja en cada élitro. La característica importante para la identificación de *C. cacti* es el color rojo o amarillo de su superficie ventral (Gordon, 1985; Machkour *et al.*, 2015, Vanegas *et al.*, 2010). Dichas características coinciden con la de nuestro espécimen. Villanueva (2016), también lo describe con cuerpo oval y convexo, una medida de 5-6 mm de longitud por 4-5 mm de ancho, tiene un color negro con una mancha por élitro de color rojo, pronoto negro, abdomen rojo, ocho segmentos antenales. *C. cacti* tiene registro en parcelas de nopal verdura depredando cochinilla silvestre en Texas, California, EUA y en México (Aguilera *et al.*, 2005), pero Vanegas *et al.* (2010), mencionan que en muchos casos no se indica el resguardo de especímenes colectados en las parcelas. *C. cacti* es uno de los depredadores de amplio espectro más usados por ejercer eficiente control de la densidad de ácaros e insectos fitófagos (Aurali *et al.*, 2001). Badi y Flores (2001), señalan que esta especie es común y más abundante en cultivos de nopal en México lo cual concuerdan con Delgadillo *et al.*, (2008).

**2.3.1.4. *Hippodamia convergens*.** El cuarto coccinélido se identificó observando la forma del cuerpo, que es compacto, con patas largas sobresalientes, cabeza expuesta y protórax de lados convexos. Tiene características de la gena que se extiende sobre el ojo y ángulo anterolateral del clépeo generalmente producido hacia adelante. Se observaron patas claramente visibles más allá del cuerpo en vista dorsal, carencia de margen posterior del protórax, la presencia de una línea postcoxal muy ajustada al margen anterior del primer segmento abdominal, élitros anaranjados con seis manchitas elitrales negras pequeñas cada uno y una común detrás del escudo y un protórax negro con dos manchitas claras oblicuas en el disco y un margen lateral y delantero del mismo color. Por lo cual el coccinélido colectado referido correspondió a *H. convergens* de acuerdo con las claves taxonómicas (Fig.4).

En *Hippodamia* el criterio para identificar al nivel subfamilia es que tienen cuerpo poco compacto, con patas largas sobresalientes, cabeza expuesta y protórax de lados convexos (Fig. 4A). Para la tribu Coccinellini, por la característica de la gena que se extiende sobre el ojo, y ángulo anterolateral del clépeo (Figura 4B). Para el género *Hippodamia*, patas claramente visibles más allá del cuerpo en vista dorsal, carencia de margen posterior del protórax, la presencia de una línea postcoxal muy ajustada al margen anterior del primer segmento abdominal (Fig. 4C). La especie *convergens* por los élitros anaranjados con seis manchitas elitrales negras pequeñas cada uno y una común detrás del escudo y un protórax negro con dos manchitas claras oblicuas en el disco y un margen lateral y delantero del mismo color (Gordon, 1985) (Fig. 4D).

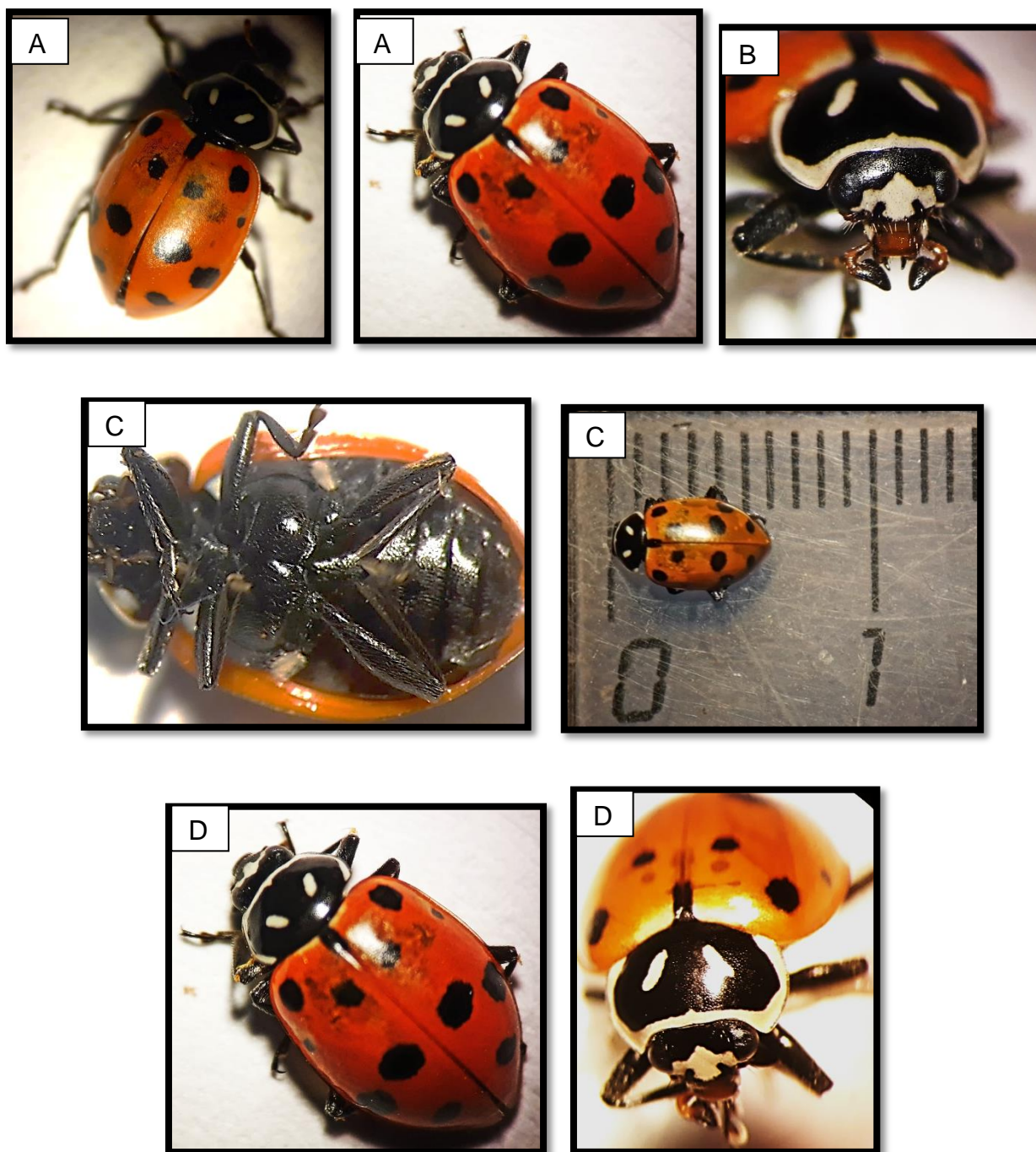


Figura 4. *Hippodamia convergens*, A) Características de la subfamilia Coccinellinae, B) Tribu Coccinellini, C) Género *Hippodamia* y D) Características de la especie *convergens*.

González (2006) menciona que los caracteres claves para *H. convergens* en adultos son: pronoto negro no marginado en la base, dos manchas claras oblicuas en el disco y un margen lateral y anterior del mismo color. Élitros anaranjados con seis manchas elitrales negras y pequeñas en cada élitro y una común detrás del escutelo, tamaño de 4.5 a 6.5 mm. Las características anteriores concuerdan con nuestro coccinélido, igual que lo mencionado por Casey (1899), que este género presenta pretarsos bifurcadas cerca del extremo, cuerpo suelto y tibias sobresalientes. Las manchas claras diagonales sobre el disco del pronoto, y los élitros anaranjados con seis manchitas claras, siempre separadas y pequeñas, permiten distinguir esta especie y tamaño entre 4-8 mm; y Zúñiga (2011) lo caracteriza con forma poco convexa, pronoto negro, dos manchas diagonales del mismo color sobre la cabeza, élitros anaranjados y algunas veces rojos y poseen seis manchas irregulares negras en cada élitro y una mancha negra semitriangular en el escutelo. En cambio, Flint *et al.*, (1995), lo describen algo diferente, con cuerpo ovalado, alargado y convexo, de 7 mm de largo y 4 mm de ancho, en el dorso del pronoto tiene dos manchas ovales alargadas blanco amarillentas, que convergen hacia atrás. Los élitros son rojos con manchas negras variables en número desde unas pocas hasta trece. En la cual esta no se adecua a nuestros especímenes, ya que todos presentan élitros anaranjados y doce puntos elitrales en total.

*H. convergens* es una de las especies de coccinélidos más conocidas en América y es comúnmente colectada en México y puede encontrarse en cultivos industriales, hortalizas y frutales (Pérez *et al.*, 2009).

### 2.3.2. Identificación molecular

Para la identificación molecular se obtuvo ADN de calidad y cantidad adecuadas de los especímenes, para efectuar la técnica de PCR. Se logró amplificar y secuenciar un fragmento de 933 pb del gen 18S rRNA y 323 pb del gen 28S de cada espécimen (Fig. 5).

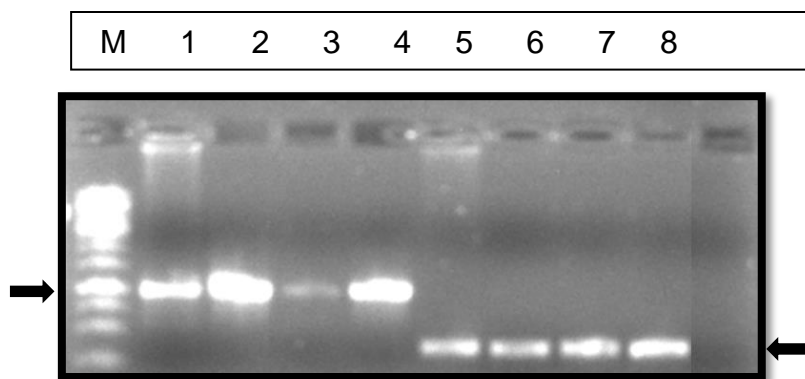


Figura 5. Amplificaciones de las regiones 18S (carriles 1 al 4) y 28S (carriles 5 al 8) visualizadas mediante electroforesis. M: Marcador de peso molecular. Carriles 1 y 5 *E. childreni guexi*, carriles 2 y 6 *H. convergens*, carriles 3 y 7 *C. cacti* y carriles 4 y 8 *H. trifurcata*. Las flechas señalan los productos de 933 y 323 pb.

La identificación molecular se logró mediante la comparación de las secuencias obtenidas de ADN con las secuencias del GenBank. En los casos, el análisis BLAST arrojó valores E cercanos a 0. Asimismo, los valores de identidad y cobertura fueron altos, lo cual indica confiabilidad en el resultado de los alineamientos. Por lo tanto, se pudo corroborar la identificación molecular a nivel de género y especie concordando

con la identificación taxonómica. Los resultados de las comparaciones utilizando BLAST se muestran en el (Cuadro 1).

Cuadro 1. Identificación molecular de los coccinélidos colectados en el presente estudio.

Especie	Talla (pb)	Valor E*	Identidad %	Resultado	
				BLAST	Accesión
<i>E. childreni guexi</i>	323	3e-131	94.57 %	<i>E. quadripustulatus</i>	FJ687736.1
<i>H. trifurcata</i>	323	6e-154	98.57 %	<i>Hyperaspis</i> sp.	EU145671.1
<i>C. cacti</i>	323	1e1-56	99.38%	<i>C. cacti</i>	KP829293.1
<i>H. convergens</i>	323	6e-154	98%	<i>H. convergens</i>	KP829300.1
<i>E. childreni guexi</i>	933	0.0	97.63%	<i>Exohomus</i> spp.	KP829190.1
<i>H. trifurcata</i>	933	0.0	98.57%	<i>Hyperaspis</i> spp.	EU145611.1
<i>C. cacti</i>	933	0.0	98.52%	<i>C. cacti</i>	KP829181.1
<i>H. convergens</i>	933	0.0	98.35%	<i>H. convergens</i>	EU164617.1

\*Valor E es la probabilidad de que por azar dos secuencias sean idénticas.

En nuestros resultados morfológicos, se identificó a *E. childreni guexi*, aunque en la identificación molecular obtuvimos como resultado a *E. quadripustulatus* L. esto se debe a que no hay secuencias del gen 18S y de 28S rRNA *E. childreni guexi* en la base de datos del NCBI, por el momento solo se encuentra una secuencia del gen de la subunidad I del citocromo oxidasa (COI), en donde Rodríguez *et al.*, (2019), aportó características morfológicas para identificar al coccinélido, mismas en las que coincidimos. En dicho trabajo se utilizó la amplificación del gen COI, que generaron

la secuencia que fue depositada con el número de acceso MH308197 la cual sería la única que podría corroboraría a *E. childreni guexi*. En NCBI, se tiene registro de cuatro genes 28S rRNA, pertenecientes a *Exochomus* sp. CO722 (accesión KP829303), a *Exochomus* sp. CCOC211 (accesión JF763559), a *E. quadripustulatus* voucher BYU CO726 (accesión FJ687736) y *E. quadripustulatus* (accesión GU073771).

Para el gen 18S rRNA se tiene registro de siete genes, pertenecientes a *Exochomus* sp. CO722 (accesión KP829190.1), *E. quadripustulatus* voucher BYU CO726 (accesión FJ687695.1), *E. nigropictus* voucher UPOL002142 (accesión EF209860.1), *E. quadripustulatus* voucher UPOL002136 (accesión EF209855.1), *E. quadripustulatus* (accesión GU073721.1), *E. quadripustulatus* (accesión AJ272150.1), *Exochomus* sp. (accesión MG624261.1) ([www.ncbi.nlm.nih.gov/](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/)).

La descripción morfológica de *E. quadripustulatus* es casi circular, longitud de 3.6-4.8 mm, su color puede variar al paso de su edad, superficie ventral negra, élitros son negros aperlados con dos puntos rojos en cada uno en forma de coma y puntos pequeños u ovalados, cabeza y pronoto negro, excepto el margen anterior y el ángulo del pronoto que es amarillo (Gordon, 1985). Lo cual a simple vista puede diferenciar estas dos especies de coccinélidos, ya que cada una presenta diferente coloración y puntos elitrales, lo que señala que en el resultado molecular nuestra secuencia de estudio presenta similitud a la secuencia de *E. quadripustulatus*.

En cuanto a la identidad del segundo coccinélido encontrado, solamente se pudo obtener el género *Hyperaspis* sp. esto debido a que en la base de datos del NCBI se cuenta con cuatro registros del gen 28s rRNA pertenecientes a *Hyperaspis* sp. JAR-

2007 (accesión EU145671), a *Hyperaspis* sp. ccoc224 (accesión JF763567) y a *H. lateralis* voucher BYU CO572 (accesión FJ687726), *H. sp.* JAR-2007 (accesión EU145714.1). Con el gen 18S se tienen dos registros pertenecientes a *Hyperaspis* sp JAR-2007 voucher CO574 (accesión EU 145611.1) y *H. lateralis* voucher BYU CO572 (accesión FJ687685.1) ([www.ncbi.nlm.nih.gov/](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/)). Lo anterior, enfatiza la necesidad de estudios exploratorios para la generación de más secuencias del gen 18S y 28S rRNA de otras especies de coccinélidos. En los cladodios colectados para este estudio se observó mayor presencia de *H. trifurcata*, lo cual se concuerda con diferentes autores (Aguilera *et al.*, 2005; Vanegas *et al.*, 2010; Rodríguez *et al.*, 2010). La información sobre la abundancia de depredadores de la grana en los mismos cultivos de nopal es limitada, ya que la mayoría de las investigaciones se concretan en enlistar las especies encontradas (Aguilera *et al.*, 2005). En general la presencia de enemigos naturales está relacionada con la densidad de grana presente en las parcelas (Vanegas *et al.*, 2010) y probablemente también tenga relación con el tipo de vegetación que se encuentre alrededor del cultivo como disponibilidad de alimento. Van Amburg *et al.*, (1981), mencionan que se ha demostrado que la destrucción del hábitat reduce la presencia de enemigos naturales en los cultivos.

En la identidad del tercer coccinélido se logró identificar género y especie en la base de datos del NCBI, la cual se cuenta con dos registros del gen 28S, pertenecientes a *C. cacti* isolate CO573 (accesión KP829293.1) y *C. cacti* voucher CO573 (accesión KP419400.1). Para el gen 18S se cuenta con dos registros los cuales son *C. cacti* isolate CO573 (accesión KP829181.1) y *C. cacti* voucher CO573 (accesión KP419046.1) ([www.ncbi.nlm.nih.gov/](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/)).



En el cuarto coccinélido, se logró identificar en género y especie en la base de datos del NCBI. Se cuenta con dos registros del gen 28S, los cuales son *H. convergens* isolate CO627 (accesión KP829300.1) y *H. convergens* isolate CO627 (accesión EU164644.1) y del 18S se tienen dos registros, *H. convergens* isolate CO627 (accesión KP829187.1) y *H. convergens* isolate CO627 (accesión EU164617.1) ([www.ncbi.nlm.nih.gov/](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/)).

Se calculó el árbol filogenético con mil permutaciones bootstrap para medir significancia de ramas y con el servidor Phylogeny.fr también se construyó el árbol con la inferencia Bayesiana (Mr. Bayes), árboles concatenados 18S y 28S (Figs. 6 y 7).

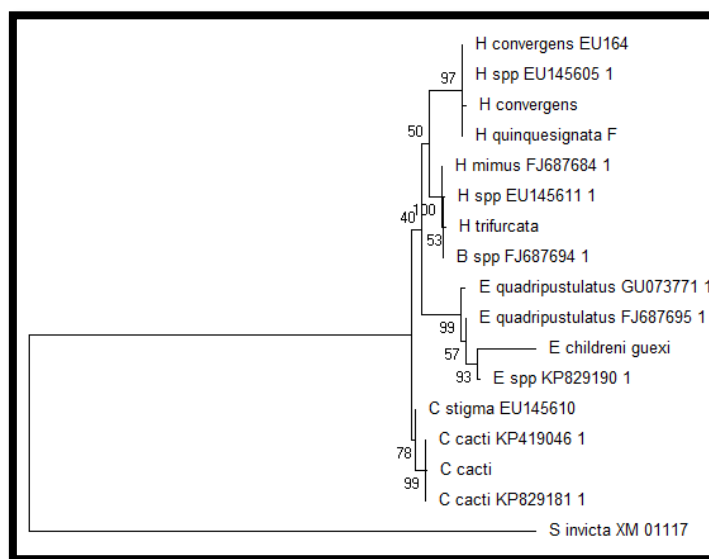


Figura 6. Árbol filogenético 18S y 28S elaborado con el programa Mega 7.0 con datos propios y accesiones del NCBI. El mejor método de sustitución fue Kimura 2-parameter model.

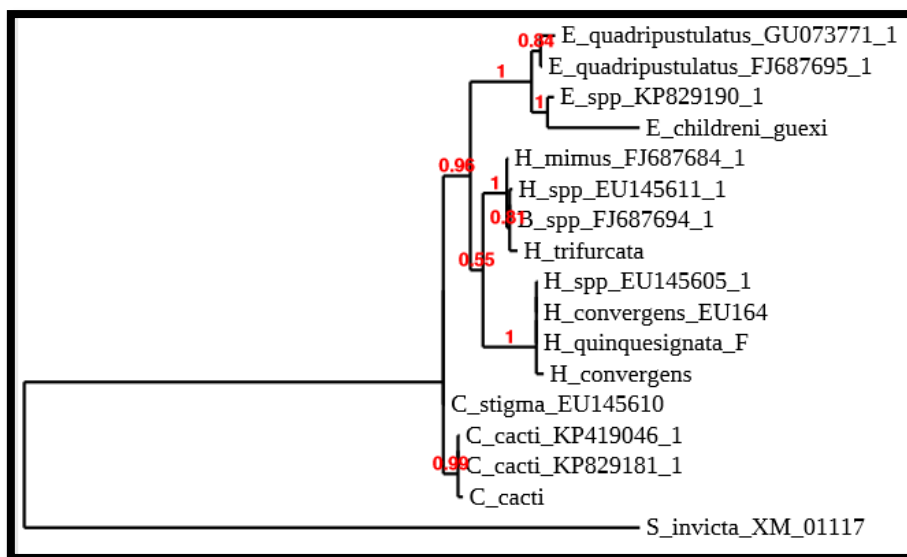


Figura 7. Árbol filogenético 18S y 28S con el servidor Phylogeny.fr con la inferencia Bayesiana (Mr. Bayes) con datos propios y accesiones del NCBI. El mejor método de sustitución Jukes and Cantor (JC69).

En los árboles concatenados se agrupan las relaciones evolutivas determinadas y se logró esclarecer que tan cercana es la relación evolutiva entre las especies de estudio con los de referencia basados en el NCBI. Se incluyó una especie distinta *Solenopsis invicta* para que sirviera como raíz.

## 2.4. CONCLUSIONES

Se identificaron cuatro enemigos naturales de *Dactylopius opuntiae* en nopal verdura en las localidades y bajo las condiciones de este estudio utilizando claves morfológicas y secuencias de ADN. Las especies encontradas correspondieron a *E. childreni guexi*, *H. trifurcata*, *C. cacti* y *H. convergens*.

## 2.5. BIBLIOGRAFIA

- Aguilera, C. A., Cázares, C. L., Hernández, M. S. y L. E. C. Márquez. 2005. Producción de grana cochinilla (*Dactylopius coccus* Costa) en plantas de nopal a la intemperie y en microtúneles. *Agrociencia* 39(2): 161-171.
- Ascencio, C. D., Jarquín, G. R. y Lara, Á. J. P. 2018. Identificación de coccinélidos nativos de San Luis Potosí, para el control biológico de *Dactylopius* spp. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 9(6): 1283-1287.
- Aurali, E., Houck, M., and Nathan, L., 2001. Potential role of parasitism in the evolution of mutualism in astigmatid mites: *Hemisarcoptes cooremani* as a model. *Experimental and Applied Acarology* 25 (2): 97-107.
- Badii, M. H., and Flores, A. E. 2001. Prickly pear cacti pests and their control in México. *Florida Entomologist* 503-505.
- Carneiro, L. M. P., Tiago, P. V., Medeiros, L. V., da Costa, A. F., and de N. T. Oliveira. 2017. *Dactylopius opuntiae*: control by the *Fusarium incarnatum-equiseti* species complex and confirmation of mortality by DNA fingerprinting. *Journal of Pest Science* 90(3): 925-933.
- Casey, T. L. 1899. A Revision of the American Coccinellidæ. In: T.L. Casey (Ed). *On American Coccinellidae. Journal of the New York Entomological Society*. 7 (2): 71-169.
- Chávez, M. C. K., Tecante, A., Casas, A., and L.E. Claps. 2011. Distribution and habitat in México of *Dactylopius costa* (Hemiptera: Dactylopiidae) and their cacti hosts (Cactaceae: Opuntioideae). *Neotropical Entomology* 40(1): 62-71.

- COFEPRIS. 2016. Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios. Búsqueda de Registros de: plaguicidas/ nutrientes vegetales. Disponible en: <http://189.254.115.250/Resoluciones/Consultas/ConWebRegPlaguicida.asp>. (Fecha de consulta: 12-III-2019)
- Cruz, R. J. A., González, M. E., Villegas, G. A. A., Rodríguez, R., and L. F. Mejía. 2016. Autonomous biological control of *Dactylopius opuntiae* (Hemiptera: Dactylopiidae) in a prickly pear plantation with ecological management. *Environmental Entomology* 45(3): 642-648.
- Delgadillo, V. I., González, M. A., y Rivera, R. 2008. Manejo fitosanitario del nopal verdura en Milpa Alta, Distrito Federal. *Comité Estatal de Sanidad Vegetal del Distrito Federal (CESAVEDF)*. 63 p.
- Espinosa, O. G. E. 2001. Enemigos naturales de la cochinilla (*Dactylopius opuntiae* Cockerell) del nopal cardón (*Opuntia streptacantha* Lemaire) en el municipio de Villa Tezontepec, Hidalgo, México. Tesis profesional. Departamento de Parasitología Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México, 67-75.
- Flint, M., Dreistadt, S., Rentner, J., and Parrella, M. 1995. Lady beetle release controls aphids on potted plants. *California Agriculture* 42(2): 5-8.
- Giorgi, J. A., Vandenberg, N. J., McHugh, J. V., Forrester, J. A., Ślipiński, S. A., Miller, K. B., and M. F. Whiting. 2009. The evolution of food preferences in Coccinellidae. *Biological Control* 51(2): 215-231.

- Gilreath, M. E., and Smith, Jr J. W. 1988. Natural enemies of *Dactylopius confusus* (Homoptera: Dactylopiidae): exclusion and subsequent impact on *Opuntia* (Cactaceae). *Environmental Entomology* 17(4): 730-738.
- González, G. 2006. Los Coccinellidae de Chile. Disponible en [www.coccinellidae.cl](http://www.coccinellidae.cl). Visitado 30-10-2018.
- Gordon, R. D. 1985. The Coccinellidae (Coleoptera) of America North of México. *Journal of the New York Entomological Society* 93: 36-642.
- Gordon, R. D., and C. Canepari. 2008. South american Coccinellidae (Coleoptera), part XI: a systematic revision of hyperaspidini (hyperaspidinae). *Annali del Museo Civico di Storia Naturale "G. Doria* 99: 245-512.
- Gouy, M., Guindon, S., and Gascuel, O. 2010. Sea View versión 4, multiplatform graphical user interface for sequence alignment and phylogenetic tree building. *Molecular Biology* 27(2):221-224.
- Hesler, L. S. 2020. New state records of lady beetles (Coleoptera: Coccinellidae: Coccinellinae) from Missouri and Mississippi, USA. USDA Agricultural Research Service. *Insecta Mundi journal of world Insect Systematics* 745: 1-4.
- INIFAP. 2016. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Disponible en: <https://www.gob.mx/inifap> (Fecha de consulta: 8-5-2019).
- Jarquín, G. R., Butrón, R. J., y Marín, S. J. 2013. Manejo no químico de la cochinilla silvestre del nopal en Villa de Arriaga, San Luis Potosí. Sede Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, XII Simposio Internacional y VII

Congreso Nacional de Agricultura Sostenible, SOMAS A.C. COLPOS, Vol. 1, 1550-1557.

- Lanteri, A., Loíacono, M. S., y C. Margaría. 2002. Aportes de la biología molecular a la conservación de los insectos. Marco Sistemático del proyecto Pribes 2002. *Red Iberoamericana de Biogeografía y Entomología Sistemática*. 207-220
- Machkour M. S., Ferral P. J., and Henaut Y. 2015. *Chilocorus cacti* (Coleoptera: Coccinellidae), a potential natural enemy for the red palm mite in Mexico. *Acta Zoológica Mexicana* (n. s.) 31(3): 512-517.
- Pérez T. B. C., Aragón G. A., Bautista M. N., Tapia R, A. M., y López O, J. F. 2009. Entomofauna asociada al cultivo de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) en el municipio de Chiautla de Tapia, Puebla. *Acta zoológica mexicana* 25(2): 239-247.
- Perfecto, I., Vandermeer, J., y Philpott, S. M. 2010. Complejidad ecológica y el control de plagas en un cafetal orgánico: develando un servicio ecosistémico autónomo. *Agroecología* (5): 41-51.
- Ramírez, A., and Santana, S. 2015. COLEOPTERA: Biology of *Hyperaspis trifurcata* Schaeffer in laboratory conditions. *Dugesiana* 20(2): 99-103.
- Rodríguez, L. E., Lomeli, F. J. R., y Vanegas, R. J. M. 2010. Enemigos naturales de la grana cochinilla del nopal *Dactylopius coccus* Costa (Hemiptera: Dactylopiidae). *In*: P. Liberaro., A. L. Viguera (Eds). Conocimiento y Aprovechamiento de la Grana Cochinilla. Publicación FAO. 101-112.

- Rodríguez, V. J. M. 2018. Especie nueva de *Exochomus* (Coleoptera: Coccinellidae: Chilocorinae) de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 89(3): 666-671.
- Rodríguez, V. J. M., Gallou, A., Uribe, M. C. A., Najar, P. M. A., Huerta, M. F. M., Contreras, R. A., and Arredondo, B. H. C. 2019. Identification of Twelve Species of Coccinellidae (Coleoptera) Predatory on *Melanaphis sacchari* (Zehntner) (Hemiptera: Aphididae) in Mexico, and submission of reference COI sequences. *The Coleopterists Bulletin* 73(1): 243-251.
- Roig J. S., Claps, L. E., y Morrone, J. J. 2014. Biodiversidad de artrópodos argentinos. *Sociedad Entomológica Argentina. Buenos Aires. Argentina* (2): 513-522.
- Sánchez, B. M., Bautista, M. N., Valdez, C. J., Equihua, M. A., y Ramírez, A. S. 2002. Insectos plaga del nopal verdura en Milpa Alta, DF. Tesis de Maestría en Ciencias, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Instituto de Fitosanidad, Programa de Entomología y Acarología, 50-56.
- Santos A., 2007. Revisión de los coleópteros coccinélidos de las islas Canarias (Coleoptera: Coccinellidae), *Boletín Sociedad Entomológica Aragonesa* 41: 1-105.
- SIAP 2018. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Superficie cultivada de nopal verdura. Disponible en: <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119>.  
<https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> (Fecha de consulta: 12-3-2019).

- Spodek, M., Ben D, Y., Protasov, A., Carvalho, C. J., and Mendel, Z. 2014. First record of *Dactylopius opuntiae* (Cockerell) (Hemiptera: Coccoidea: Dactylopiidae) from Israel. *Phytoparasitica* 42(3): 377-379.
- Tamura, K., Stecher, G., Peterson, D., Filipski, A., and Kumar, S. 2013. MEGA6, molecular evolutionary genetics analysis version 6.0. *Molecular Biology and Evolution* 30(12):2725-2729.
- Van Amburg, G. L., James, A. S. and Pemble, R. H. 1981. Response of arthropods to a spring burn of a tallgrass prairie in north-western Minnesota. *In*: R. L. Stuckey and Karen J. Reese (eds.). The Prairie Peninsula in the "Shadow" of Transeau: Proc. Sixth North American Prairie Conference, 1979 Columbus, Ohio. *Ohio Biological Survey Biological Notes*, 15 240-243.
- Vanegas, R. J. M., Lomelí, F. J. R., Rodríguez, L. E., Mora, A. G. y Valdez, J. M. 2010. Enemigos naturales de *Dactylopius opuntiae* (Cockerell) en *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller en el centro de México. *Acta Zoológica Mexicana (n.s.)* 26(2): 415-433.
- Vanegas R. J. M., Rodríguez L. J. R., Lomeli F., González H. H., Pérez P., and. Mora, A. G. 2016. Biology and life history of *Hyperaspis trifurcata* feeding on *Dactylopius opuntiae*. *BioControl* 61(6):691-701.
- Villanueva, R. T. and Sekula. D. 2014. A new pest of sorghum: The sugarcane aphid. *In*: 20th Annual Rio Grande Valley Cotton & Grain Pre-Plant Conference Counties.
- Villanueva, E. 2016. Biología de *Chilocorus cacti* Linnaeus (Coleoptera: Coccinellidae) en condiciones de laboratorio. *Dugesiana* 23(1): 45-50.



- Whiting, M. F., Carpenter, J. C., Wheeler, Q. D., and Wheeler, W. C. 1997. The Strepsiptera problem: phylogeny of the holometabolous insect orders inferred from 18S and 28S ribosomal DNA sequences and morphology. *Systematic biology* 46(1): 1-68.
- Zúñiga R. Á., 2011. Los coccinélidos (Coleoptera: Coccinellidae) de la región de Magallanes: nuevos registros y distribución regional. Universidad de Magallanes *In: Anales del Instituto de la Patagonia* 39(1): 59-71.

**CAPÍTULO 3**  
**ASPECTOS BIOLÓGICOS DE COCCINÉLIDOS ASOCIADOS A *Opuntia ficus***  
***indica* EN SAN LUIS POTOSÍ, MÉXICO**

Este capítulo fue publicado en la Revista *Southwestern Entomologist* 45(3):725–731, 2020.

### CAPITULO 3

#### ASPECTOS BIOLÓGICOS DE COCCINÉLIDOS ASOCIADOS A *opuntia ficus indica* EN SAN LUIS POTOSÍ, MÉXICO

##### RESUMEN

El objetivo de la investigación fue determinar el ciclo biológico y tablas de vida de *Exochomus childreni guexi* (LeConte), *Chilocorus cacti* (Linnaeus), *Hyperaspis trifurcata* (Schaeffer) e *Hippodamia convergens* (Guerin) en condiciones de laboratorio. La colecta de ejemplares se efectuó en parcelas de nopal verdura en los municipios de Santa María del Río y Soledad de Graciano Sánchez del estado de San Luis Potosí. Se obtuvieron los ciclos de vida, desglosándose por tiempo en cada estadio y se elaboraron las tablas de vida desde el nacimiento, muerte y descendencia de cada especie. La duración del ciclo completo para, *C. cacti*, *E. childreni guexi*, *H. convergens* y *H. trifurcata* fue 53-69, 59-70, 60-77 y 64-75 días, respectivamente. Para las cuatro especies se encontró que en la etapa de huevo a larva I tiene un valor bajo de transición, en comparación con estadios de larva III donde hay mejores valores de sobrevivencia.

##### ABSTRACT

The objective of the research was to determine the biological cycle and produce life tables of *Exochomus childreni guexi* (LeConte), *Chilocorus cacti* (Linnaeus), *Hyperaspis trifurcata* (Schaeffer) and *Hippodamia convergens* (Guerin) under

laboratory conditions. The collection of specimens was carried out in plots of prickly pear cactus in the municipalities of Santa María del Río and Soledad de Graciano Sánchez in the state of San Luis Potosí. Life cycles were obtained, broken down by time at each stage, and life tables from birth, death, and offspring of each species were prepared. The duration of the complete cycle for, *C. cacti*, *E. childreni guexi*, *H. convergens* and *H. trifurcata* was 53-69, 59-70, 60-77 and 64-75 days respectively. For the four species, it was found that in the stage from egg to larva I it has a low transition value, compared to stages of larva III where better survival was better.

### 3.1. INTRODUCCIÓN

El nopal, *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill, es una especie originaria de México de importancia alimenticia, forrajera e industrial (Griffith, 2004) y se cultivan alrededor de 60,000 ha para obtener cladodios inmaduros que se consumen como vegetales (nopalitos) y para obtener frutos o tunas (SIAP, 2018). San Luis Potosí, México, es parte del área considerada centro de origen del género *Opuntia*, y sus variantes cultivadas son producto de una relación prolongada de domesticación (Reyes *et al.*, 2009). *Dactylopius opuntiae* (Cockerell), conocida como grana cochinilla es una plaga primaria en México, Brasil, España, Turquía, Israel y Marruecos en nopal verdura (Spodek *et al.*, 2014). Las ninfas y las hembras provocan el daño (Rule y Hoffmann 2018). Aunque hay alternativas químicas para el control de la cochinilla silvestre, en México existen restricciones para el uso de plaguicidas en el nopal (COFEPRIS, 2016). Existen reportes que han caracterizado algunos enemigos naturales de *D. opuntiae* y sus ventajas en México (Cruz *et al.*, 2016, Vanegas *et al.*,

2016). En el estado de San Luis Potosí se han observado coccinélidos depredando cochinillas silvestres en el municipio de Soledad de Graciano Sánchez y Santa María del Río (Jarquín *et al.*, 2013, Ascencio *et al.*, 2018) y se han identificado taxonómicamente y molecularmente algunos de ellos (Ascencio *et al.*, 2020). Se sabe que existe un conjunto de enemigos naturales de la cochinilla que actúan de manera diferencial en función a su densidad (Vanegas *et al.*, 2010, Cruz *et al.*, 2016), no obstante, corresponden a regiones diferentes a la zona de estudio. La importancia de conocer el ciclo biológico del enemigo natural *in situ* es esencial para establecer las bases de una propuesta de control biológico y por ello las tablas de vida son herramientas que contribuyen a analizar e interpretar factores de mortalidad (Naranjo 2001) y estimar el potencial de crecimiento poblacional (Maia *et al.*, 2000).

El objetivo del presente estudio fue determinar los aspectos biológicos de *Chilocorus cacti* (Linnaeus), *Exochomus childreni guexi* (LeConte), *Hyperaspis trifurcata* (Schaeffer) e *Hippodamia convergens* (Guerin) en condiciones de laboratorio, buscando documentar su potencial como enemigos naturales de *D. opuntiae* y poder implementar estrategias de manejo de esta plaga.

### 3.2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron colectas de coccinélidos, en los ranchos San Ignacio del municipio de Santa María del Río, (22°11'22.9''LN y 100°52'36.3''LO a 1,777 msnm) y Los Ángeles ubicado en el municipio de Soledad de Graciano Sánchez, San Luis Potosí (21°37'50.4''LN y 100°43'48'' LO a 1861 msnm). La bioprospección se llevó a cabo entre el 3 de enero y 30 de abril de 2019. En las parcelas referidas se muestrearon

aquellas zonas donde se observó la mayor infestación utilizando la metodología de Vanegas *et al.*, (2010), tomando plantas al azar de las cuales se colectaron larvas y adultos de *E. childreni guexi*, *C. cacti*, *H. trifurcata* y *H. convergens*. Los depredadores se llevaron al laboratorio de investigación entomológica de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí donde se mantuvieron a 26-30°C y 50% de humedad relativa (Traceable®). Cada coccinélido observado paso por siete estadios para llegar a adulto (huevo, cuatro estados larvales, pre-pupa y pupa) y durante este proceso se registraron los datos de tiempo de cada estadio y longevidad del adulto y en conjunto para elaborar las tablas de vida (Cuadro 2). Se replicaron en dos periodos del año, la primera entre enero-febrero y la segunda en marzo-abril analizándose las cuatro especies. Para lo anterior se utilizaron cajas Petri en las cuales se agregaron diez hembras adultas de grana cochinilla (*D. opuntiae*) para la alimentación de larvas y adultos colectados, y un simulador de ovipostura el cual se preparó con un trozo de papel bond color verde doblado en forma de acordeón.

Se determinó el ciclo de vida mediante la metodología de Palomares *et al.*, (2016) para lo cual se utilizaron de cada especie 100 huevos en total colocados en diferentes cajas Petri de 5 cm de diámetro revestidas con papel filtro humedecido para evitar el desecamiento y pérdida de la viabilidad. Se realizaron observaciones dos veces al día y se registraron los eventos de huevo, larva, pupa y adulto. Para el análisis de las fases de las etapas del ciclo biológico, se tomó el tiempo de los eventos y se promedió el número de días para cada estadio. Las tablas de vida se elaboraron de forma horizontal obteniendo los datos desde la oviposición del huevo

hasta completar el ciclo biológico del individuo, dichos huevos se obtuvieron de la reproducción de nuestros coccinélidos colectados. Esto ayuda a elaborar con mayor certeza los parámetros poblacionales de una manera controlada en condiciones de laboratorio que permiten establecer características en tasas de natalidad y mortalidad por cada estadio de las especies en estudio (Rabinovich, 1980).

Se establecieron los siguientes parámetros especificando cada intervalo:  $x$  = estado de desarrollo,  $N_x$  = número total de individuos observados al inicio de cada estadio,  $l_x$  = proporción de sobrevivientes al inicio del estadio =  $N_x / N_0$  ( $N_0 = 100$ ),  $d_x$  = número de muertos entre estadios =  $N_x - N_{x+1}$ ,  $p_x$  = tasa de transición,  $s_x$  = tasa de supervivencia =  $N_{x+1} / N_x$ ,  $q_x$  = tasa de mortalidad =  $d_x / N_x$ , y  $m_x$  = número de hijas producidas por hembra.

### 3.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se observó para los cuatro coccinélidos sus diferentes estadios, desde el periodo de incubación del huevo, sus cuatro instares larvales, cambiando de muda en cada instar, una pre-pupa y una pupa y finalmente llegando al adulto.

En *C. cacti* su ciclo de huevo a adulto fue el más corto, con una duración promedio de 22-30 días. El más largo lo tuvo *E. childreni guexi* con 28–35 días. El ciclo completo desde huevo hasta la muerte correspondió a *H. trifurcata* con 64 -75 días y el menor a *C. cacti* con 53 – 69 días en promedio (Cuadro 2).

Cuadro 2. Duración promedio (días) de los estados biológicos de cuatro Coccinélidos alimentados con hembras adultas de *Dactylopius opuntiae*.

Especie	Estado de desarrollo							
	Huevo	Larva I	Larva II	Larva III	Larva IV	Pre pupa	Pupa	Adulto
<i>C. cacti</i>	4.9 ± 0.78 <sup>a</sup>	3.5 ± 0.44	5 ± 0.70	3.8 ± 0.67	4.3 ± 0.4	1.4 ± 0.37	3.3 ± 0.4	35 ± 3.68
<i>E. childreni g</i>	5.66 ± 0.47	4.5 ± 0.5	2.58 ± 0.53	4.5 ± 0.5	6.5 ± 0.40	0.5 ± 0.40	8 ± 0.95	32.66 ± 1.88
<i>H. convergens</i>	5.5 ± 0.5	4.3 ± 0.4	4.3 ± 0.4	4 ± 0.94	5.5 ± 0.5	1.1 ± 0.66	6 ± 0.70	38.2 ± 4.16
<i>H. trifurcata</i>	5.41 ± 0.44	3.66 ± 0.55	1.91 ± 0.67	4.41 ± 0.33	6.5 ± 0.45	1.33 ± 0.37	7 ± 0.64	39.5 ± 2.06

<sup>a</sup> Duración en días, promedio ± desviación estándar.

La tasa de transición ( $P_x$ ) de *C. cacti*, *E. childreni guexi*, *H. convergens*, e *H. trifurcata* mostraron que en la etapa de huevo y larva I presentan una baja posibilidad de supervivencia, disminuyendo conforme va cambiando de estadio. En la tasa de mortalidad ( $q_x$ ) los valores se mantuvieron bajos en los cuatro estadios larvales, esta condición difiere en las etapas para huevo y pupa ya que los valores aumentaron en los casos de *C. cacti* y *E. childreni guexi*. *H. convergens* mantiene valores bajos en estadio larval II, larval III y pupa, en el estadio de huevo y larva IV los valores se incrementaron y en *H. trifurcata* los estadios larvales II y III mantiene valores bajos y en el estadio de huevo difiere ya que se incrementa el valor.

La tasa de supervivencia ( $s$ ) muestra un incremento notorio en las etapas larvales, la cual en la etapa III presento mayor expectativa de vida en *C. cacti* y en *E. childreni guexi* se muestra un incremento notorio en la larva III y larva IV siendo por lo tanto las que presentan mayor expectativa de vida. En *H. convergens* se muestra un incremento notorio en la larva II, larva III y pupa, mientras que en *H. trifurcata*



presenta un incremento en estadios larvales II y III presentando mayor expectativa de supervivencia (Cuadro 3).

Cuadro 3. Tabla de vida horizontal de *Chilocorus cacti*, *Exochomus childreni guexi*, *Hippodamia convergens* e *Hyperaspis trifurcata* alimentados con hembras adultas de *Dactylopius opuntiae*.

	x	N <sub>x</sub>	l <sub>x</sub>	d <sub>x</sub>	p <sub>x</sub>	s <sub>x</sub>	q <sub>x</sub>	m <sub>x</sub>
<i>Chilocorus cacti</i>	Huevo	100	1	35	2	0.65	0.35	
	Larva I	65	0.65	6	2.188	0.907	0.093	
	Larva II	59	0.59	4	2.284	0.932	0.067	
	Larva III	55	0.55	2	2.368	0.963	0.036	
	Larva IV	53	0.53	3	2.416	0.943	0.056	
	Pupa	50	0.5	12	2.5	0.76	0.24	
	Adulto	38	0.38		3.011			21
<i>Exochomus childreni guexi</i>	Huevo	100	1	55	2	0.45	0.55	
	Larva I	45	0.45	12	2.672	0.733	0.266	
	Larva II	33	0.33	3	3.360	0.909	0.090	
	Larva III	30	0.3	0	3.363	1	0	
	Larva IV	30	0.3	1	3.633	0.966	0.033	
	Pupa	29	0.29	2	3.738	0.931	0.060	
	Adulto	27	0.27		3.973			15
<i>Hippodamia convergens</i>	Huevo	100	1	38	2	0.62	0.38	
	Larva I	62	0.62	4	2.232	0.935	0.064	
	Larva II	58	0.58	0	2.304	1	0	
	Larva III	58	0.58	3	2.304	0.948	0.051	
	Larva IV	55	0.55	5	2.368	0.909	0.090	
	Pupa	50	0.5	3	2.5	0.94	0.06	
	Adulto	47	0.47		2.59			29

<i>Hyperaspis trifurcata</i>	<b>Huevo</b>	100	1	62	2	0.38	0.62
	<b>Larva I</b>	38	0.38	2	3.011	0.947	0.052
	<b>Larva II</b>	36	0.36	0	3.137	1	0
	<b>Larva III</b>	36	0.36	0	3.137	1	0
	<b>Larva IV</b>	36	0.36	2	3.137	0.944	0.055
	<b>Pupa</b>	34	0.34	3	3.281	0.911	0.088
	<b>Adulto</b>	31	0.31		3.535		13

En las zonas de bioprotección del estado Potosino como en otras partes del país, se buscan alternativas al uso de plaguicidas sintéticos ya que presentan efectos negativos al ambiente, por el cual la posibilidad de emplear enemigos naturales, mediante estrategias de conservación de la entomofauna benéfica, es deseable como lo establecen también Bermúdez y Martínez (2016).

El ciclo de vida más corto de *C. cacti* en comparación con *D. opuntiae* y la capacidad de alimentarse de las hembras adultas de cochinilla son ventajosos para su uso como agente de control biológico. Los datos de Flores *et al.*, (2013) muestran que la depredación está modulada por la densidad de la presa; sin embargo, la densidad y diversidad de otras especies no presa y otros depredadores pueden modificar la respuesta funcional. En *H. convergens*, su ciclo de vida en promedio fue de huevo 10 días, en estados larvales de 29 días, prepupa de 2 días, pupa de 14 días y vida de adulto de 31 días (Eraso y Mallama 2016). El ciclo de vida de *H. trifurcata* tuvo un periodo de 5 y 7 días, la larva en sus cuatro instares 15 a 19 días, pupa con duración de 14 a 18 días y el adulto una longevidad de 45 a 49 días, bajo condiciones de laboratorio de 21 °C a 25 °C (Ramírez *et al.*, 2013). Los resultados reportados por

dicho autor no concuerdan con los obtenidos, ya que se obtuvo una duración más corta en el ciclo y una longevidad menor, esto pudo deberse a la diferente condición de temperatura presente en laboratorio.

### 3.4. CONCLUSIONES

Los datos de aspectos biológicos (ciclos y tablas de vida) obtenidos durante este estudio, determinan efectividad de su reproducción en condiciones de laboratorio, lo cual que permitiría su manejo en crías artesanales o en condiciones controladas, esto dentro de programas de control biológico que pudieran ser considerados como depredadores potenciales de *Dactylopius opuntia* en nopal verdura.

### 3.5. BIBLIOGRAFÍA

- Ascencio, C. D. O., Alvarado, G. O. G., Lara, Á. J. P., Jarquin, G. R., y Ávila, R. V. 2020. Caracterización de coccinélidos depredadores (Coleoptera: Coccinellidae) en un sistema agroecológico semidesértico. *Folia Entomologica Mexicana* (n.s) 6: 1-8.
- Ascencio, C. D. O., Jarquín, G. R., y Lara, Á. J. P. 2018. Identificación de coccinélidos nativos de San Luis Potosí, para el control biológico de *Dactylopius spp.* *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 9: 1283-1287.
- COFEPRIS. 2016. Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios. Búsqueda de Registros de: plaguicidas/ nutrientes vegetales. Disponible <http://189.254.115.250/Resoluciones/Consultas/ConWebRegPlaguicida.as>
- Cruz, R. J. A., González, M.E., Villegas, G. A. A., Rodríguez, R. M. L., and Mejía, L. F. 2016. Autonomous biological control of *Dactylopius opuntiae* (Hemiptera:

- Dactylopiidae) in a prickly pear plantation with ecological management. *Environmental Entomology* 45: 642-648.
- Flores, A., Olvera, H., Rodríguez, S., y Barranco, J. 2013. Predation potential of *Chilocorus cacti* (Coleoptera: Coccinellidae) to the prickly pear cacti pest *Dactylopius opuntiae* (Hemiptera: Dactylopiidae). *Neotropical Entomology* 42: 407-411.
- Griffith, M. P. 2004. The origins of an important cactus crop, *Opuntia ficus-indica* (Cactaceae): New Molecular Evidence. *American Journal of Botany* 91 (11): 1915-1921.
- Jarquín, G. R., Butrón, R. J., y Marín, S.J. 2013. Manejo no químico de la cochinilla silvestre del nopal en Villa de Arriaga, San Luis Potosí. XII Simposio Internacional y VII Congreso Nacional de Agricultura Sostenible, SOMAS A.C. COLPOS, Vol. 8: 1200 p.
- Maia, A. D. H., Luiz, A. J., and Campanhola, C. 2000. Statistical inferences on associated fertility life table parameters using Jackknife technique: computational aspects. *Journal of Economic Entomology* 93(2): 511-518.
- Mallama, G. A. J., y Erasso, G. R. F. 2016. Determinación del ciclo biológico de *Hippodamia convergens* Guerin-Meneville, 1842 (Coleoptera: Coccinellidae) y su capacidad predadora de áfidos (*Aphis* sp.) en condiciones de laboratorio. Tesis de Maestría. Universidad de Manizales, Manizales, Colombia. 44-62.
- Naranjo, S. E. 2001. Conservation and evaluation of natural enemies in IPM systems for *Bemisia tabaci*. *Crop Protection* 20(9): 835-852.

- Palomares-Pérez, M., B. Rodríguez-Vélez, M.A. Zermeño-Ayala, J. de J. de la Cruz-Llanas, A. M. Mendoza-Castañeda, J. A. Sánchez-González, H.C. Arredondo-Bernal, E. G. Cordoba-Urtíz. 2016. Aspectos biológicos y capacidad de depredación de *Exochomus marginipennis* (LeConte) (Coleoptera: Coccinellidae) sobre *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Liviidae). *Chilean Journal Agricultural Animal Sciences* 32(2): 102-109.
- Provisor-Bermúdez, Y. y V. López-Martínez. 2016. Primer registro de *Hippodamia convergens* y *Cycloneda sanguinea* (Coleoptera: Coccinellidae), como depredadores de *Melanaphis sacchari* (Hemiptera: Aphididae) en sorgo, en Morelos, México. *Acta Agrícola y Pecuaria* 2: 51-53.
- Rabinovich, J. 1980. Introducción a la Ecología de Poblaciones Animales. Editorial Continental S.A. México. 313 p.
- Ramírez, A. S., O. N. Santana, y A. J. F. Solís. 2013. Biology of *Hyperaspis trifurcata* Schaeffer (Coleoptera: Coccinellidae) in laboratory conditions. *Dugesiana* 20: 99-103.
- Reyes-Agüero, J. A., J. R. Aguirre-Rivera, F. Carlín-Castelán F., y A. González-Durán. 2009. Catálogo de las principales variantes silvestres y cultivadas de *Opuntia* en la Altiplanicie Meridional de México. U.A.S.L.P., SAGARPA y CONACYT. México. 350 p.
- Rule, N. F., and J. Hoffmann. 2018. The performance of *Dactylopius opuntiae* as a biological control agent on two invasive *Opuntia* cactus species in South Africa. *Biological Control* 119: 7-11.

- SIAP. 2018. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Superficie cultivada de nopal verdura. Disponible en. <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo>. Fecha de consulta: 11 febrero 2019.
- Spodek, M., Y. Ben-Dov, A. Protasov, C. J. Carvalho, and Z. Mendel. 2014. First record of *Dactylopius opuntiae* (Cockerell) (Hemiptera: Coccoidea: Dactylopiidae) from Israel. *Phytoparasitica* 42: 377–379.
- Vanegas-Rico, J. M., J. R. Lomeli-Flores, E. Rodríguez-Leyva, G. Mora-Aguilera y J. M. Valdez, J. M. 2010. Enemigos naturales de *Dactylopius opuntiae* (Cockerell) en *Opuntia ficus–indica* (L.) Miller en el centro de México. *Acta Zoologica mexicana* (n.s.). 26: 415-433.
- Vanegas-Rico, J. M., E. Rodríguez-Leyva, J. R. Lomeli-Flores, H. González-Hernández, A. Pérez-Panduro, and G. Mora-Aguilera. 2016. Biology and life history of *Hyperaspis trifurcata* feeding on *Dactylopius opuntiae*. *Biological Control* 61: 691-701.

**CAPÍTULO 4**  
**RESPUESTA FUNCIONAL DE *Exochomus childreni guexi*, *Chilocorus cacti*,  
*Hyperaspis trifurcata* E *Hippodamia convergens* SOBRE *Dactylopius*  
*opuntiae***

**CAPÍTULO 4**  
**RESPUESTA FUNCIONAL DE *Exochomus childreni guexi*, *Chilocorus cacti*,  
*Hyperaspis trifurcata* E *Hippodamia convergens* SOBRE *Dactylopius*  
*opuntiae***

**RESUMEN**

Coccinellidae es una familia del orden Coleoptera, la cual es de importancia ecológica por la gran actividad depredadora que ejercen tanto larvas como adultos sobre las plagas. *Dactylopius opuntiae*, conocida comúnmente como grana silvestre, es considerada la principal plaga en las plantaciones de nopal, este hemíptero se alimenta directamente de la planta causando clorosis y caída prematura de cladodios y frutos. El objetivo de la investigación fue determinar la voracidad de los posibles enemigos naturales de *D. opuntiae*: *Exochomus childreni guexi* (LeConte), *Chilocorus cacti* (Linnaeus), *Hyperaspis trifurcata* (Schaeffer) e *Hippodamia convergens* (Guerin) en condiciones de semicontroladas en laboratorio. La colecta de ejemplares se efectuó en parcelas de nopal verdura del estado de San Luis Potosí, en los municipios de Santa María del Río y Soledad de Graciano Sánchez. La respuesta funcional de depredadores se determinó colocando a cada especie y estadio (larva y adulto) por separado junto con la grana en relaciones 1:1, 2:1 y 3:1 (depredador-grana). Los depredadores se aislaron de alimento por un día, después se juntaron por 24 h y luego se retiraron y se contaron las granas silvestres vivas. Se tomaron registros de consumo y se estimó la voracidad diaria por estado de desarrollo y especie y se utilizó un diseño factorial AxBxC completamente al azar. Se comprobó la voracidad que tienen los enemigos naturales hacia la cochinilla silvestre,



siendo estos en estado larval más efectivos que en estado adulto. En ambos estadios se observó que, a mayor proporción del enemigo natural, es más rápida su acción de control sobre *D. opuntiae*. *C. cacti* fue el mejor depredador en comparación con *H. convergens* que fue el que presentó menor voracidad hacia la cochinilla silvestre.

### ABSTRACT

Coccinellidae is the family of the Coleóptera order, which is ecologically important, due to the great predatory activity of both larvae and adults exert on pests. *Dactylopius opuntiae*, commonly known as wild mealybug, is considered the main pest in nopal plantations, this hemipteran feeds directly on the plant causing chlorosis and premature fall of cladodes and fruits. The objective of the research was to determine the voracity of the possible natural enemies of *D. opuntiae*: *Exochomus childreni guexi* (LeConte), *Chilocorus cacti* (Linnaeus), *Hyperaspis trifurcata* (Schaeffer) and *Hippodamia convergens* (Guerin) under laboratory conditions. The collection of specimens was carried out in plots of nopal vegetables in the state of San Luis Potosí, in the municipalities of Santa María del Río and Soledad de Graciano Sánchez. The functional response of predators was determined by placing each species and stage (larva and adult) separately together with the cochineal in 1: 1, 2: 1 and 3: 1 (predator-cochineal). Predators were isolated from food for a day, then gathered for 24 h, and then removed and live wild seeds were counted.

Consumption records were taken and daily voracity was estimated by development stage and species, and a completely randomized AxBxC factorial design was used.

The voracity of natural enemies towards the wild mealybug was verified, these being more effective in the larval stage than in the adult stage. In both stages it was observed that, at higher proportion of the natural enemy, is faster their control action of *D. opuntiae*. *C. cacti* was the best predator in comparison to *H. convergens*, which was the least voracious towards the wild mealybug.

#### 4.1. INTRODUCCIÓN

Coccinellidae es una familia del orden Coleoptera, la cual es de importancia ecológica por la gran actividad depredadora que ejercen tanto larvas como adultos sobre las plagas. Son mejor conocidos como catarinas o mariquitas y han sido estudiados como alternativa de control biológico y utilizados contra áfidos, pulgones, trips, cochinillas entre otras plagas (Lomelí *et al.*, 2014). Esta familia posee aproximadamente seis mil especies que son reconocidas a nivel mundial, tienen importancia por sus hábitos depredadores. Su estudio a nivel mundial y nacional son aún escasos, por lo que se cuenta con pocas investigaciones sobre su diversidad, biología, distribución y efectividad en plagas (Trejo y Arriola, 2012). *Dactylopius opuntiae* Cockerell (Hemiptera: Dactylopiidae), conocida comúnmente como grana silvestre, es considerada la principal plaga en las plantaciones de nopal (Mena, 2011). Este hemíptero se alimenta directamente de la planta causando clorosis y a consecuencia de esto caída prematura de cladodios y frutos. Las infestaciones

graves pueden ser un daño del 75% de la superficie, la cual provocan la muerte de la planta (Vanegas *et al.*, 2015). En Brasil, el daño causado en *Opuntia ficus indica* utilizada como forraje resultó en la pérdida de 100,000 ha, valoradas en 25 millones de dólares. México es considerado centro de origen y domesticación de *O. ficus indica* (Griffith, 2004) y se registran seis de las once especies descritas de dactilópodos cuyos principales daños son al fruto y a cladodios jóvenes, y como resultado se obtienen menores rendimientos y mayores costos de producción (Portillo y Vigueras, 2004). Chávez *et al.*, (2011), menciona que la presencia de plagas es una de las limitantes más importantes en la producción de nopal verdura; y que *D. opuntiae* es la plaga más abundante. Recientemente se documentaron alternativas de manejo contra esta plaga, ya que en México existen pocos productos registrados para su control y se consideran altamente tóxicos (COFEPRIS, 2016).

San Luis Potosí cuenta con una superficie sembrada de nopal verdura de 300 ha con una producción en el estado de 2462 toneladas con rendimientos de 8.71 ton/ha (SIAP, 2019), de la cual los municipios más afectados por *D. opuntiae* son San Luis Potosí, Santa María del Río y Soledad de Graciano Sánchez, con pérdidas del cultivo hasta de un 50% de su producción (INIFAP, 2016). Existen enemigos naturales de la grana que actúan de manera diferencial en función a su densidad (Cruz *et al.*, 2016). El control biológico es una alternativa para reducir riesgos y se considera un establecimiento de interacción entre insectos benéficos y los posibles dañinos dentro de un agroecosistema, esto para limitar la amplitud de las fluctuaciones poblacionales (Perfecto *et al.*, 2010). La evaluación de atributos biológicos de un enemigo natural, proporciona resultados los cuales se interpretan y sugieren poner

en práctica para el control biológico (Price, 1972). Dos enemigos naturales asociados a la grana silvestre en México y Estados Unidos son *Chilocorus cacti* e *Hyperaspis trifurcata*, los cuales son los reportados con mayor abundancia presentes en los cultivos de nopal (Vanegas *et al.*, 2015). En México están registradas ocho especies del género *Hyperaspis*, las cuales fueron encontradas en diferentes cultivos y malezas en diversos estados, *H. trifurcata* es reportada y asociada con nopal silvestre y nopal verdura en los estados de Sonora, Chihuahua, Durango y Jalisco (Gordon, 1985). Una de las especies de coccinélidos más conocida en América y en México es *Hippodamia convergens*, la cual se considera una especie importante por su gran depredación de diversas plagas (Pérez *et al.*, 2009). *C. cacti*, es considerado como un depredador potencial de la grana silvestre, este coccinélido se encuentra presente y es reportado como un enemigo natural en las zonas productoras de nopal verdura en la Ciudad de México (Villanueva *et al.*, 2016).

La importancia benéfica de los coccinélidos para la agricultura es de suma importancia destacando *H. convergens*, *H. trifurcata*, *C. cacti* y *E. childreni guexi*, siendo un factor de mortalidad importante para áfidos, escamas y otras plagas de cuerpo blando, sin embargo, hace falta investigar más su comportamiento dentro de un programa de control biológico y estudiar también el impacto de otras posibles especies que puedan fungir como controladores de plagas en cultivo (Flores y Salas 2004, González y Almeida, 2017). La presencia de enemigos naturales representa una alternativa al uso de insecticidas y de sus efectos negativos al agroecosistema (Bermúdez y Martínez, 2016). Al aumentar la densidad de una especie plaga, se incrementa también la disponibilidad de recursos alimenticios y sitios de reproducción

del enemigo natural, lo que permite incrementar también su propia densidad. Este incremento del enemigo natural trae como consecuencia un aumento en el porcentaje de mortalidad de la población de la plaga como resultado de la depredación. Por el contrario, al decrecer la población de la plaga, la densidad del enemigo natural también disminuye como resultado de los efectos de la escasez de alimento, la dispersión y otros factores, lo cual resulta en un decremento en el porcentaje de mortalidad de la plaga por el enemigo natural, proceso que garantiza la no extinción de la presa, lo cual evita también la extinción del enemigo natural (Vázquez y González, 2007). La respuesta funcional, es la relación entre la tasa de consumo de un individuo y la densidad del alimento, se refiere a las diferencias en los comportamientos del enemigo natural en función a los cambios de densidad de la presa (Rodríguez y Arredondo, 2007). Para Pervez (2005), son herramientas relevantes que proveen información sobre la eficiencia que tienen al consumir presas conforme va aumentando o disminuyendo su densidad poblacional. Para Vázquez *et al.*, (2008), la respuesta funcional se refiere a la respuesta del cambio en el comportamiento de los individuos en función de los cambios en la densidad de la presa, ya que una respuesta positiva significa un mayor consumo al aumento de la densidad de la presa y viceversa y la respuesta numérica es la reproducción, inmigración y sobrevivencia de la población de un enemigo natural que resulta de los cambios en la densidad de la presa, en que una respuesta positiva significa una mayor reproducción, inmigración y sobrevivencia al aumentar el número de presas y viceversa.

En ese sentido, los coccinélidos son considerados depredadores generalistas con alto potencial para disminuir poblaciones de plagas de una manera eficiente, eliminando posiblemente el uso de otra alternativa que cause daño al ambiente, sin embargo, existen aquellos que tienen preferencia por un tipo de presa en específico (Dixon, 1959). La mayoría de los casos exitosos de control biológico han sido logrados a través de la utilización de enemigos naturales con hábitos alimenticios restringidos a una especie de plaga. En el caso de enemigos naturales de plagas, la especificidad es un requisito para lograr una asociación más estrecha entre las densidades de la plaga y el enemigo natural (regulación). En general, se considera a los enemigos naturales específicos como más efectivos y confiables (Vázquez *et al.*, 2001). El objetivo general de esta investigación fue estudiar el potencial como agentes de control biológico de *E. childreni guexi* (LeConte), *C. cacti* (Linnaeus), *H. trifurcata* (Schaeffer) y *H. convergens* (Guerin) como depredadores sobre la cochinilla silvestre *D. opuntiae* (Cockerell).

#### 4.2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron colectas de coccinélidos para el experimento a partir del mes de julio del 2019, en los ranchos San Ignacio del municipio de Santa María del Río, S.L.P. (22°11'22.9''LN y 100°52'36.3''LO a 1,777 msnm) y en el rancho Los Ángeles ubicado en el municipio de Soledad de Graciano Sánchez, S.L.P (21°37'50.4''LN y 100°43'48'' LO a 1861 msnm). Se colocaron en cajas Petri una densidad fija de grana y una cantidad variable de coccinélidos depredadores. El experimento se ubicó en el laboratorio de investigación durante los meses de agosto-septiembre del año

2019, con temperatura semicontrolada de 28°C – 32°C en la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí. La respuesta funcional de los depredadores se determinó colocando a cada especie y estadio (larva y adulto) por separado junto con la grana en cajas Petri de 100 x 20 mm, en relaciones 1:1, 2:1 y 3:1 (depredador-grana) a lo cual se le denominó relación (R). Los depredadores se aislaron de alimento por un día, después se juntaron por 24 h y luego se retiraron y se contaron las granas silvestres vivas. Se tomaron registros de consumo y se estimó la voracidad diaria por estado de desarrollo y especie utilizando la ecuación  $V_0 = (A - a_{24})$ , donde  $V_0$  es número de presas consumidas, A número de presas ofrecidas y  $a_{24}$  presas vivas después de 24 h (Soares *et al.*, 2003), calculando el porcentaje de depredación por semana. Se tuvieron veinticuatro tratamientos formados por la combinación de cuatro especies, dos estadios y tres relaciones depredador: grana., (larva y adulto de *E. childreni guexi*, *C. cacti*, *H. trifurcata* e *H. convergens* en relaciones 1:1, 2:1 y 3:1) con cuatro repeticiones cada una.

Se utilizó un diseño factorial AxBxC completamente al azar. A los datos obtenidos se les realizó una transformación angular o de Bliss, para que el análisis de varianza fuera homogéneo. Los datos obtenidos se sometieron a un Análisis de Varianza (ANOVA), con el programa estadístico IBM® SPSS® Statistics versión 21 y se compararon las medias con el método Tukey, utilizando el programa de Diseños Experimentales FAUANL versión 1.8.

### 4.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo con los resultados obtenidos mediante el ANOVA, hay diferencias significativas en todas las fuentes de variación con excepción de las interacciones Especie\*Relación y Especie\*Estadio\*Relación (cuadro 4).

Cuadro 4. Análisis de Varianza de la respuesta funcional de los coccinélidos.

Fuente de variación	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Especie	1409.156	3	469.719	14.104	.000
Estadio	766.399	1	766.399	23.012	.000
Relación	3757.916	2	1878.958	56.418	.000
Especie * Estadio	508.854	3	169.618	5.093	.003
Especie * Relación	411.789	6	68.631	2.061	.069
Estadio * Relación	276.652	2	138.326	4.153	.020
Especie * Estadio * Relación	349.407	6	58.235	1.749	.122
Error	2397.921	72	33.304		
Total corregida	9878.094	95			

De acuerdo con los resultados obtenidos mediante ANOVA, indica que hay diferencia significativa en las interacciones Especie\*Estadio y Estadio\*Relación, es decir al menos un tratamiento es diferente a los demás, los cuales se analizaron mediante comparación de medias con el método de Tukey.



Cuadro 5. Interacciones Especie\*Estadio

Especie	Estadio	Media*	Error típ.	Intervalo de confianza 95%	
				Límite inferior	Límite superior
<i>C. cacti</i>	Adulto	39.680	1.666	36.359	43.001
	Larva	47.402	1.666	44.081	50.723
<i>E. childreni guexi</i>	Adulto	41.055	1.666	37.734	44.376
	Larva	44.374	1.666	41.053	47.695
<i>H. convergens</i>	Adulto	27.820	1.666	24.499	31.141
	Larva	39.727	1.666	36.406	43.048
<i>H. trifurcata</i>	Adulto	40.399	1.666	37.078	43.720
	Larva	40.055	1.666	36.734	43.376

\*Valores obtenidos con el promedio de 12 observaciones.

Cuadro 6. Comparación de Medias de la interacción Especie\*Estadio

Especie	Adultos		Larvas	
<i>C. cacti</i>	39.68	a	47.40	a
<i>E. childreni guexi</i>	41.05	a	44.37	ab
<i>H. convergens</i>	27.82	c	39.72	b
<i>H. trifurcata</i>	40.39	a	40.05	ab

La comparación de medias respecto a la depredación de *D. opuntiae*, los resultados mostraron que *C. cacti* tuvo el mayor resultado de depredación en ambos estadios y el menor fue *H. convergens* el cual no mostro gran eficacia en depredación a comparación de los demas. Los tratamientos con letras iguales indican diferencia no significativa.

Cuadro. 7. Comparación de medias de las especies en cada estadio.

	<i>C. cacti</i>	<i>E. childreni guexi</i>	<i>H convergens</i>	<i>H. trifurcata</i>
Larva	47.4 a	44.37 ab	39.72 b	40.05 ab
Adulto	39.68 a	41.05 a	27.82 c	40.40 a

Los estadios larvales mostraron mayores resultados a comparación de los estadios de adultos. En el estadio larval el mayor se presento con la especie *C. cacti*, seguido de los estadios larvales de *E. childreni guexi* e *H. trifurcata*, en estadio adulto los mayores se presentaron en *C. cacti*, *E. childreni guexi* e *H. trifurcata*. En *H. convergens* en ambos estadios se mostraron los resultados menores. Los tratamientos con letras iguales indican diferencia no significativa.

Cuadro 8. Interacciones Estadío\*Relación

Estadio	Relación	Media*	Error típ.	Intervalo de confianza 95%	
				Límite inferior	Límite superior
Adulto	1:1	29.595	1.443	26.719	32.471
	2:1	36.104	1.443	33.228	38.980
	3:1	46.016	1.443	43.140	48.892
Larva	1:1	39.438	1.443	36.562	42.314
	2:1	37.632	1.443	34.756	40.508
	3:1	51.599	1.443	48.723	54.475

\*Valores obtenidos con el promedio de 16 observaciones.

Cuadro 9. Comparación de Medias de la interacción de Estadio\*Relación

Estadio	1:1	2:1	3:1
Larva	39.43 b	37.63 b	51.59 a
Adulto	29.59 c	36.10 b	46.01 a

Se encontraron diferencias significativas entre tratamientos, los mayores resultados se presentaron en la relación 3:1 y los menores resultados en relación 1:1.

Los resultados mostraron que en más cantidad de insectos benéficos a comparación de la *D. opuntiae*, se presenta una mayor depredación. Los tratamientos con letras iguales indican diferencia no significativa.

Cuadro 10. Comparación de medias de los estadios en cada relación.

Relación	Larva	Adulto
1:1	39.34 b	29.59 c
2:1	37.63 b	36.10 b
3:1	51.59 a	46.01 a

El mayor resultado se obtuvo en estadio larval y adulto en relación 3:1, siguiendo de la relación 2:1 en ambos estadios y relación 1:1 estadio larval. En el estadio adulto de la relación 1:1 se presentó el menor resultado.

Va existiendo mayor conciencia de los efectos secundarios negativos que ocasiona la aplicación de insecticidas químicos en el ambiente. Por esta razón, el control biológico con la utilización de enemigos naturales se considera un componente

importante en los sistemas de manejo integrado de cultivos (Hodek y Honek 1996). Las larvas más desarrolladas son más eficientes que las jóvenes y los adultos. Los coccinélidos debido a su dieta y a la gran voracidad que presentan las larvas, se llegan a utilizar como agentes de control biológico hacia los pulgones y hacia otras especies, si bien, tanto las larvas como los adultos, son depredadores, las primeras se mueven activamente en toda la planta para la búsqueda de alimento y migrando también a otras plantas y los adultos, en cambio, los adultos son menos activos y se mantienen cerca de las presas, donde también se aparean y luego depositan sus huevos (Gordon, 1985). En México se han identificado siete especies de enemigos naturales de la cochinilla silvestre (Vanegas *et al.*, 2010), y llegan a presentar diferentes estrategias de depredación y actúan de forma conjunta para regular poblaciones plaga (Cruz *et al.*, 2016). Dentro de estas especies sobresale *C. cacti*, se ha utilizado en programas de control biológico en diferentes cultivos dado que es un depredador de escamas y por lo tanto un depredador de importancia ya que en estado larval como adulto consume todos los estados de la grana silvestre, no obstante, su influencia en la dinámica poblacional de *D. opuntiae* y su efectividad como agente de control biológico en los agroecosistemas de nopal no ha sido evaluada (Cruz *et al.*, 2016).

Rodríguez y González (2018), ofrecieron individuos de *D. opuntiae* con y sin seda a larvas de *C. cacti*, con lo cual obtuvieron como resultado que la grana ofrecida sin seda disminuyó en su población más rápidamente en comparación de la grana con seda, pudiendo ser un factor de ventaja hacia la depredación, ya que no contaba con su seda lo cual los protegía de cierta forma al ataque de los coccinélidos.

Flores *et al.*, (2013), utilizaron una metodología igual a la que se empleó en este trabajo, antes de comenzar con la toma de datos, los enemigos naturales se dejaron sin alimento por un lapso de 24 h, posteriormente se juntaron con la presa y se mantuvieron juntos por un día, después de esto se llevó a cabo un conteo de presas consumidas y se observó una gran respuesta funcional *C. cacti*, ya que controló la densidad de población de la grana silvestre, presentando gran voracidad específicamente a las hembras reproductoras, esto es ventajoso para su uso como agente de control biológico. En *C. cacti*, los reportes indican que es una especie que se ha utilizado en el control biológico de insectos escama (Pluke *et al.*, 2005), con los resultados obtenidos en este estudio se sugiere que *C. cacti* es un buen candidato como agente de control biológico contra *D. opuntiae*. Nuestro estudio de laboratorio reporta que *C. cacti* tiene una respuesta positiva, al momento de incrementar la densidad de presas aumenta el consumo, existiendo una relación directa entre estos factores, por lo cual es un buen candidato como agente de control biológico en el cultivo del nopal verdura, pero es recomendable realizar estudios en campo para determinar el efecto regulador que interactúan. El aumento de la respuesta funcional, en relación con el aumento de la densidad de presas, podría atribuirse a la disponibilidad e incremento en el consumo de alimento (Sánchez *et al.*, 2018). Existen diferentes especies de Coccinellidae que son candidatas para ser evaluadas en programas de control biológico (Rodríguez *et al.*, 2019). Esparza *et al.*, (2008) menciona que en la capacidad de depredación desde el primer día de su experimento se consumió un 90% de las ninfas y en el caso de las hembras adultas no fueron consumidas, la cual fue diferente con nuestro resultado, ya que nosotros

solo agregamos hembras adultas con las cuales se presentó depredación desde las primeras horas.

Ramírez *et al.*, (2013), evaluaron la respuesta funcional de *H. trifurcata*, colocando diferentes cantidades de presas y depredadores, con un tiempo de exposición entre presa-depredador de 24 horas, antes de realizar esto, el depredador se mantuvo en ayunas durante un día, posteriormente se realizó un conteo de presas consumidas. El resultado en este caso de *H. trifurcata* en ambos sexos fue un consumo promedio de  $1.5 \pm 0.3$  presas por día. Y también se observó que cuando aumentó la densidad de presas, también aumentó su voracidad, lo cual concuerda con lo observado en nuestro trabajo. En plantaciones de nopal libre de químicos se observó la presencia de *H. trifurcata*, en donde se presentaba densidades de *D. opuntiae* que superaban las 100 colonias en cladodios, allí se observaron signos de depredación en huevos y ninfas de cochinilla y a su vez en hembras adultas (Cruz *et al.*, 2016). Nuestros resultados coinciden con esto en cuanto a la observación de mayor presencia de *C. cacti* e *H. trifurcata* en cladodios infestados, tanto larvas como adultos devorando a la grana. Espinosa (2001), reportó a *H. trifurcata* para el estado de Hidalgo como el depredador más abundante de *D. opuntiae*. Un estudio taxonómico de insectos plaga del nopal verdura realizado por Sánchez (2002), en Villa Milpa Alta, D. F., registró a *D. opuntiae* como una de las especies que causaron mayores daños y a *H. trifurcata* como a uno de sus principales depredadores, el cual también se tiene reportes por Ascencio *et al.*, (2020), considerado como posible depredador en el altiplano Potosino. El depredador *H. trifurcata* presenta buenas características de adaptabilidad, ya que se cría con facilidad en condiciones de laboratorio. La tasa de

consumo neto para ambos sexos de *H. trifurcata* fue de  $2 \pm 0.20$  presas consumidas por día. Este depredador no presenta canibalismo, aunque sean sometidos a una gran competencia por alimento (Ramírez y Santana, 2015). Vanegas *et al.*, (2015), menciona a *H. trifurcata* como uno de los coccinélidos con mayor abundancia y presencia en las huertas de nopal verdura de Tlanepantla, Morelos, México y es considerado tanto estadio larval como adulto gran depredador de *D. opuntiae*. En Israel se realizó una introducción de *H. trifurcata* para controlar a la grana, aun no se llega a determinar cómo caso de éxito, ya que presenta consecuencias de aclimatación, ya que este depredador es originario de otro país (Mendel *et al.*, 2020). Existen trabajos que se han realizado de respuesta funcional y numérica en especies de coccinélidos como el de Elliot *et al.*, (2011) que trabajaron con *H. convergens* y Davoodi y Sahragar (2013), con *H. variegata*, encontraron una respuesta numérica del Tipo II de Holling para las dos especies y una relación directa entre la cantidad de presas consumidas y el número de huevos ovipositados por las hembras del mismo género. Para el caso de *H. convergens*, se ha reportado como uno de los coccinélidos más abundantes en diferentes cultivos y como uno de los enemigos naturales de más amplio espectro, recientemente cuenta con reporte como el coccinélido más abundante en el cultivo de sorgo y depredador de pulgón amarillo en Puebla (Fortoul *et al.*, 2020). Existe otra especie que se tiene reportada como posible enemigo natural el cual es *Hyperaspis campestris*, demostrando en condiciones de laboratorio que pueden alimentarse de los estadios de la grana, consumiendo un promedio de 10 larvas en 24 horas, esto se presentó en Marruecos considerado el primer registro de este coccinélido como agente de control (Bouharroud *et al.*, 2019).

En el caso de *E. childreni guexi*, no se cuenta con suficiente información sobre su presencia como enemigo natural de *D. opuntiae*, en cambio se cuenta con reportes de otras especies de este género en el control de plagas. *Exochomus marginipennis* es reportado como depredador de *D. citri* en Tecomán, Colima, lo cual también mencionan que el estadio larval instar tres y cuatro ejercen una mayor depredación (Palomares *et al.*, 2016), lo cual es consistente con los resultados de este estudio, ya que una de las especies bajo estudio (*E. childreni guexi*) también presentó mayor depredación en estadio larval, particularmente en el instar tres. Rodríguez *et al.* (2019), mencionan que se ha observado a *E. childreni guexi* depredando a *M. sacchari* en Colima y Morelos, México; y Ascencio *et al.*, (2020), mencionan que se encuentra presente en las colonias de *D. opuntia* en parcelas de nopal verdura en San Luis Potosí. Se han reportado otras especies del género *Exochomus* como enemigos naturales de *D. opuntiae*, los cuales son *E. flavipes* y *E. montrus*. Lima *et al.*, (2011), reportan al género *Exochomus* como depredador de colonias de grana silvestre en Brasil.

#### 4.4. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en el presente trabajo establecieron la depredación en condiciones controladas y sustentan la capacidad de voracidad de los cuatros coccinélidos sobre *D. opuntiae*. En los estadios larvales se presentaron mejores resultados, al igual cuando la proporción de entomófagos supera a la presa es más efectiva la depredación.



#### 4.5. BIBLIOGRAFÍA

- Ascencio C., D. O., Alvarado G., O. G., Lara Á., J. P., Jarquin G., R., y Ávila R., V. 2020. Caracterización de coccinélidos depredadores (Coleóptera: Coccinellidae) en un sistema agroecológico semidesértico. *Folia Entomológica Mexicana* 6: 1-8.
- Bermúdez, Y. P. Martínez, V. L. 2016. Primer registro de *Hippodamia convergens* y *Cycloneda sanguinea* (Coleoptera: Coccinellidae), como depredadores de *Melanaphis sacchari* (Hemiptera: Aphididae), en sorgo, en Morelos, México. *Acta Agrícola y Pecuaria* 2(2): 51-53.
- Bouharroud, R., El Aalaoui, M., Boujghagh, M., Hilali, L., El Bouhssini, M., and Sbaghi, M. 2019. New record and predatory activity of *Hyperaspis campestris* (Herbst 1783) (Coleoptera: Coccinellidae) on *Dactylopius opuntiae* (Hemiptera: Dactylopiidae) in Morocco. *Entomological News* 128(2): 156-160.
- Chávez, M. C. K., Tecante, A., Casas, A., and Claps, L. E. 2011. Distribution and habitat in Mexico of *Dactylopius Costa* (Hemiptera: Dactylopiidae) and their cacti hosts (Cactaceae: Opuntioideae). *Neotropical entomology* 40(1): 62-71.
- COFEPRIS 2016. Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios. Búsqueda de Registros de plaguicidas/ nutrientes vegetales. <http://189.254.115.250/Resoluciones/Consultas/ConWebRegPlaguicida.asp>. (Fecha de consulta: 12-3-2019)
- Cruz, R. J. A., González, M. E., Villegas, G. A. A., Rodríguez, R. M. L., and Mejía, L. F. 2016. Autonomous biological control of *Dactylopius opuntiae* (Hemiptera: Dactylopiidae) in a prickly pear plantation with ecological management. *Environmental Entomology* 45(3): 642-648.

- Davoodi, D. S. and Sahragar, A. D. 2013. Functional response of *Hippodamia variegata* (Coleoptera: Coccinellidae) to different densities of *Aphis gossypii* (Hemiptera: Aphididae) in an open patch design. *Journal of Agricultural Science and Technology* 15 (4): 651-659.
- Dixon, A. F. G. 1959. An experimental study of the searching behaviour of the predatory coccinellid beetle *Adalia decempunctata* (L.). *The Journal of Animal Ecology* 259-281.
- Elliot, N. C., Kieckhefer, R. W., and Phoofolo, M. W. 2011. Functional response of *Hippodamia convergens* to *Sitobion avenae* on wheat plants in the laboratory. *Southwestern Entomologist* 36 (4): 423-431.
- Esparza, G. G., Vigueras, A. L., y Portillo, L. 2008. Capacidad de depredación de *Chilocorus cacti* L. (Coleoptera: Coccinellidae) en *Dactylopius opuntiae* Cockerell (Hemiptera: Dactylopiidae). *Grana cochinilla y colorantes naturales*, 43-45.
- Espinosa, O. G. E. 2001. Enemigos naturales de la cochinilla (*Dactylopius opuntiae*) del nopal cardón (*Opuntia streptacantha*) en el municipio de Villa Tezontepec, Hidalgo. México. Tesis profesional. Departamento de Parasitología Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Flores, M. S. y Salas, A. M. D. 2004. Coccinélidos (Coleóptera: Coccinellidae) del estado de Guanajuato en la colección Leopoldo Tinoco Corona de la Universidad de Guanajuato. *Acta Universitaria* 14(2): 8-16.
- Flores, A., Olvera, H., Rodríguez, S., and Barranco, J. 2013. Predation potential of *Chilocorus cacti* (Coleoptera: Coccinellidae) to the prickly pear cacti pest

*Dactylopius opuntiae* (Hemiptera: Dactylopiidae). *Neotropical Entomology* 42(4): 407-411

- Fortoul, D. J. V., Huerta, de la P. A., Lomeli, F. J. R., Hernández, S. J. H., y Pérez, M. A. 2020. Fluctuación poblacional de *Melanaphis sacchari* (Zehntner) e Identificación de sus depredadores en sorgo con manejo tradicional en Puebla, México. *Southwestern Entomologist* 45(2): 553-562.
- González, G. y Almeida, L. M. 2017. Sobre la taxonomía de los Chilocorini Mulsant (Coleóptera: Coccinellidae) en América del Sur. *Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa* 61: 7-22.
- Gordon, R. D. 1985. The Coccinellidae (Coleoptera) of America North of Mexico. *Journal of New York Entomology Society* 93:1-911
- Griffith, M. P. 2004. The origins of an important cactus crop, *Opuntia ficus-indica* (Cactaceae): New molecular evidence. *American Journal of Botany* 91(11): 1915-1921.
- Hodek, I. and Honek, A. 1996. Ecology of Coccinellidae. Dordrecht, Boston Kluwer Academic. *Series Entomologicas. Springer* 54 19-31.
- INIFAP 2016. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. <https://www.gob.mx/inifap> (Fecha de consulta: 8-5-2019).
- Lima, M. S., da Silva, D. M. P., Falcão, H. M., Ferreira, W. M., Silva, L. D., and Paranhos, B. A. J. 2011. Predators of the *Dactylopius opuntiae* (Hemiptera: Dactylopiidae) on fodder *opuntia* in the Pernambuco State, Brazil. *Revista Chilena de Entomología* 36: 51-54.

- Lomelí, F. J. R., Rodríguez, L. E., y Torres, R. A. 2014. Control biológico de plagas en la agricultura protegida en México. Memorias del XXV Curso Nacional de Control Biológico, Mérida, Yucatán, México. Sociedad Mexicana de Control Biológico. Pp. 215-222.
- Mena, C. J. 2011. Insectos plagas del nopal: como tomar decisiones con un enfoque de manejo integrado. *Revista Salud Pública y Nutrición*, Edición especial (5): 65-74.
- Mendel, Z., Protasov, A., Vanegas, R. J. M., Lomeli, F. J. R., Suma, P., and Rodríguez, L. E. 2020. Classical and fortuitous biological control of the prickly pear cochineal, *Dactylopius opuntiae*, in Israel. *Biological Control* 142, 104157.
- Palomares, P. M., Rodríguez, V. B., Ayala, Z. M. A., de la Cruz, LI, J. D., Mendoza, C. A. M., Sánchez, G. J. A., y Cordoba, U. E. G. 2016. Aspectos biológicos y capacidad de depredación de *Exochomus marginipennis* (Leconte) (Coleoptera: Coccinellidae) sobre *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Liviidae). *Chilean journal of agricultural & animal sciences* 32(2): 102-109.
- Pérez, T. B. C., Aragón, G. A., Bautista, M. N., Tapia, R. A. M., y López, O. J. F. 2009. Entomofauna asociada al cultivo de Jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) en el municipio de Chiautla de Tapia, Puebla. *Acta zoológica mexicana* 25(2): 239-247.
- Perfecto, I., Vandermeer, J., y Philpott, S. M. 2010. Complejidad ecológica y el control de plagas en un cafetal orgánico: develando un servicio eco sistémico autónomo. *Agroecología* 5: 41-51.

- Pervez, A. O. 2005. Functional responses of coccinellid predators: An illustration of a logistic approach. *Journal of Insect Science* 5 (1): 5.
- Pluke, R. W. H., Escribano, A. Michaud, J. P., and Stansly, P. A. 2005. Potential impact of lady beetles on *Diaphorina citri* (Homoptera: Psyllidae) in Puerto Rico. *Florida Entomologist* 88(2): 123-128.
- Portillo, M. I. and Vigueras, A. L. 2004. A review on the cochineal species in Mexico, hosts and natural enemies. *In: V International Congress on Cactus Pear and Cochineal* 728, 249-256.
- Price, P. W. 1972. Methods of sampling and analysis for predictive results in the introduction of entomophagous insects. *Entomophaga* 17(2): 211-222.
- Ramírez, A. S., Santana, N., y Solís, J. F. 2013. Biología de *Hyperaspis trifurcata* Schaeffer (Coleoptera: Coccinellidae) en condiciones de laboratorio. *Dugesiana* 20(2): 99-103.
- Rodríguez, del B. L. A. y Arredondo, B. H. C. (ed). 2007. Fundamentos Ecológicos del Control Biológico. Capítulo 2. pp 19-35. *In: Teoría y Aplicación del Control Biológico*. Sociedad Mexicana de Control Biológico, México. 303 p.
- Rodríguez, J. A. C. y González, I. A. H. 2018. *Chilocorus cacti* como agente de control biológico de la cochinilla silvestre del nopal. *Cadernos de Agroecología* 13(1):1-5.
- Rodríguez, V. J. M., Sarmiento, C. M. A., Rodríguez, V. B., y Arredondo, B. H. C. 2019. Coccinélidos asociados al cultivo de *Cocos nucifera* en Colima, Jalisco, y Quintana Roo, México. *Southwestern Entomologist* 44(1): 345-348.

- Rodríguez, V. J. M., Gallou, A., Uribe, M. C. A., Najar, P. M. A., Huerta, M. F. M., Contreras, R. A., and Arredondo, B. H. C. 2019. Identification of twelve species of Coccinellidae (Coleoptera) predatory on *Melanaphis sacchari* (Zehntner) (Hemiptera: Aphididae) in Mexico, and submission of reference COI sequences. *The Coleopterists Bulletin* 73(1): 243-251.
- Sánchez, B. M. 2002. Insectos plaga del nopal verdura en Milpa Alta, D. F. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Posgraduados. Montecillo, México.
- Sánchez, E. V., Alarcón, S. R., Verduzco, C. V., Cabrera, I. S., Cruz, A. L., y González, J. D. C. 2018. Respuesta numérica de *Chilocorus cacti* sobre *Dactylopius opuntiae*. *Southwestern Entomologist* 43(3): 705-713.
- SIAP 2019. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Superficie cultivada de nopal verdura. <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-producción-agrícola-por-estado>.
- Soares, A. O., Coderre, D., and Schanderl, H. 2003. Effect of temperature and intraspecific allometry on predation by two phenotypes of *Harmonia axyridis* Pallas (Coleoptera: Coccinellidae). *Environmental Entomology* 32(5): 939-944.
- Trejo, L. A. G. y Arreola, J. I. N. 2012. Nuevos registros de Coccinellidae para el estado de Morelos, México. *Acta zoológica mexicana* 28(3): 640-643.
- Vanegas, R. J. M., Lomeli, F. J. R., Rodríguez, L. E., Mora, A. G., y Valdez, J. M. 2010. Enemigos naturales de *Dactylopius opuntiae* (Cockerell) en *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller en el centro de México. *Acta zoológica mexicana*, 26(2): 415-433.

- Vanegas, R. J. M., Lomeli, F. J. R., Rodríguez, L. E., Pérez, P. A., González, H. H., and Marín, J. A. 2015. *Hyperaspis trifurcata* (Coleoptera: Coccinellidae) and its parasitoids in Central Mexico. *Revista Colombiana de Entomología* 41(2): 194-199.
- Villanueva, S. E., Ramírez, A. S., Villanueva, V. C., Pinto, V. M., y Sánchez, C. I. 2016. Biología de *Chilocorus cacti* Linnaeus (Coleoptera: Coccinellidae) en condiciones de laboratorio. *Dugesiana* 23 (1): 45-50.
- Vázquez, M. L. L., y Murguido, C. E. P. 2001. Control Biológico por conservación de los enemigos naturales en los programas de manejo de plagas introducidas. In: Resúmenes IV Seminario Científico de Sanidad Vegetal, Taller de Plagas Emergentes. Matanzas, Cuba. 257.
- Vázquez, M. L. L. 2002. Avances del control biológico de *Bemisia tabaci* en la región Neotropical. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología*, (66), 82-95.
- Vázquez, M. L.L., y Gonzálvez, F. E. L. 2007. Bases para el manejo agroecológico de plagas en sistemas agrarios urbanos. Ed. CIDISAV. 42-54.
- Vázquez, M. L. L., Alfonso, J., Matienzo, Y., y Veitía, M. 2008. Conservación y manejo de enemigos naturales de insectos fitófagos en los sistemas agrícolas de Cuba. Ed. CIDISAV. 202.
- Vázquez, M. L. L., Caballero, F. S., Pérez, A., Gil, M. J., Armas, G. J. L., Rodríguez, F. A., y Fumero, M. M. 2010. Diagnóstico de la utilización de entomófagos y entomopatógenos para el control biológico de insectos por los agricultores en Cuba. *Fitosanidad*, 14(3) 159-169.

## CAPÍTULO 5

**DINÁMICA POBLACIONAL DE *Exochomus childreni guexi*, *Chilocorus cacti*,  
*Hyperaspis trifurcata*, *Hippodamia convergens* Y *Dactylopius opuntiae* EN  
CONDICIONES SEMICONTROLADAS EN CAMPO**



**CAPITULO 5**  
**DINÁMICA POBLACIONAL DE *Exochomus childreni guexi*, *Chilocorus cacti*,  
*Hyperaspis trifurcata*, *Hippodamia convergens* Y *Dactylopius opuntiae* EN  
CONDICIONES SEMICONTROLADAS EN CAMPO**

**RESUMEN**

La familia Dactylopiidae, conocidas como granas silvestres o cochinillas, son las plagas de mayor importancia en la producción de nopal, *Opuntia ficus indica* en México. Existen un conjunto de enemigos naturales de la cochinilla que actúan de manera diferencial en función a su densidad. Los estudios de respuesta funcional proveen información sobre la eficiencia de enemigos naturales para consumir presas conforme se incrementa su densidad poblacional. El objetivo del presente estudio fue determinar la dinámica poblacional de la plaga *Dactylopius opuntiae* y sus enemigos naturales *Chilocorus cacti*, *Exochomus childreni guexi*, *Hyperaspis trifurcata* e *Hippodamia convergens* con el fin de determinar su presencia y abundancia en condiciones ambientales semicontroladas. Se presentaron en total 246 coccinélidos, divididos de la siguiente manera: *H. convergens* con 84 especímenes, *H. trifurcata* con 80 especímenes, *C. cacti* con 55 especímenes y *E. childreni guexi* con 27 especímenes. Se obtuvo como resultado una correlación positiva significativa entre el nivel de infestación de la plaga y los insectos benéficos. Lo anterior significa que cuando la infestación de grana va en aumento, empieza la presencia de insectos benéficos cuya densidad va aumentando conforme se incrementa la grana. El mes

en el que se presentó la mayor abundancia de *D. opuntiae* fue agosto en el cual también se observó la mayor presencia de entomófagos.

### ABSTRACT

The Dactylopiidae family, known as wild cochineal, are the major pests in the production of *Opuntia ficus indica* in Mexico. But there are a set of natural enemies of the mealybug that act differentially depending on their density. Functional response studies provide information on the efficiency of natural enemies to consume prey as their population density increases. The objective of this study was to determine the population dynamics of the *Dactylopius opuntiae* pest and its natural enemies *Chilocorus cacti*, *Exochomus childreni guexi*, *Hyperaspis trifurcata* and *Hippodamia convergens* in order to determine the presence, abundance and effect under field semi-controlled environmental conditions.

An amount of 246 coccinellids were presented, in which they were: *H. convergens* with 84 individuals, *H. trifurcata* with 80 individuals, *C. cacti* with 55 individuals and *E. childreni guexi* with 27 individuals. As a result, a strong positive correlation was obtained between pest level of Infestation and beneficial insects. This means that when the infestation increases, the presence of beneficial insects begins, and their density increases as the scar grows. The month with the highest presence of *D. opuntiae* was August when the highest presence of entomophages was also observed.

## 5.1. INTRODUCCIÓN

La producción de nopal, *Opuntia ficus indica* en México presenta varios problemas siendo los más importantes la incidencia de diversas plagas, de las cuales destaca por su importancia la familia Dactylopiidae y se llegan a presentar prácticamente en todas las regiones productoras, ocasionando un daño elevado en desprendimiento de cladodios y frutos durante su desarrollo (Vanegas *et al.*, 2010).

En los géneros *Opuntia* y *Nopalea*, se desarrolló una especificidad evolutiva de Dactylopiidae y en México se reportan 72 especies de *Opuntia* y 3 especies de *Nopalea* asociadas a *Dactylopius* spp (Portillo, 2008).

Existen diferentes familias de enemigos naturales asociadas a Dactilópodos, de las cuales Coccinellidae se presenta por ser más específico (Rodríguez *et al.*, 2010). En México, los más abundantes son *Chilocorus cacti* e *Hyperaspis trifurcata* (Vanegas *et al.*, 2010, Ascencio *et al.*, 2018; Ascencio *et al.*, 2020).

Los coccinélidos son una familia de coleópteros de gran importancia para los agroecosistemas (Morón y Terrón, 1988). Existen un conjunto de enemigos naturales de la grana que actúan de manera diferencial en función a su densidad (Vanegas *et al.*, 2010; Cruz *et al.*, 2016). Una alternativa para reducir estos riesgos, denominada control biológico autónomo, considera que es importante el establecimiento dentro de los agroecosistemas de redes de interacción biótica que limiten la amplitud de las fluctuaciones poblacionales (Perfecto *et al.*, 2011).

Los estudios de respuesta funcional son herramientas relevantes que proveen información sobre la eficiencia de enemigos naturales para consumir presas

conforme se incrementa su densidad poblacional, en tanto la dinámica poblacional es un elemento importante en el manejo de plagas, estos estudios permiten conocer la oscilación de la población a través de un periodo de tiempo, información que permite realizar estimaciones de daño y planear estrategias de combate para abatir las poblaciones de la plaga durante los meses de mayor incidencia (Pervez, 2005), estos estudios se realizan comúnmente en coccinélidos adultos (Milonas *et al.*, 2011). El objetivo del presente estudio fue determinar la dinámica poblacional de *Dactylopius opuntiae*, *Chilocorus cacti*, *Exochomus childreni guexi*, *Hyperaspis trifurcata* e *Hippodamia convergens* con el fin de determinar la presencia, abundancia y sus efectos en condiciones ambientales semicontroladas.

## 5.2. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se estableció en el Campo Agrícola Experimental de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí; en el Ejido Palma de la Cruz del municipio de Soledad de Graciano Sánchez, S.L.P., localizado en el km 14.5 de la carretera S.L.P.-Matehuala y ubicado geográficamente a 22°14'10" de latitud norte y 100°53'10" de longitud oeste, a una altura de 1835 msnm. El macro túnel utilizado cuenta con tres hileras, cada una de 8 metros de largo por un metro de ancho, en el cual se sembraron cladodios con la parte basal enterrada hasta la mitad, a una distancia entre plantas de 20 cm, teniendo 120 cladodios en total, el material vegetal utilizado fue la variedad Villanueva, con una edad aproximada de cuatro años y un tamaño de raqueta de 20 a 30 cm de largo. Las raquetas utilizadas fueron cortadas de pencas de nopal verdura de los ranchos

San Ignacio del municipio de Santa María del Río, (22°11'22.9''LN y 100°52'36.3''LO a 1,777 msnm) y Los Ángeles ubicado en el municipio de Soledad de Graciano Sánchez, San Luis Potosí (21°37'50.4''LN y 100°43'48'' LO a 1861 msnm). Los registros climáticos se obtuvieron de la Comisión Nacional del Agua y de Meteored, de la estación de Soledad de Graciano Sánchez. Los datos registrados se promediaron por semana y por mes.

El establecimiento del cultivo se realizó en el mes de abril 2019, empezando las observaciones en ese mismo mes y concluyendo en diciembre 2019. La toma de datos se realizó cada quince días durante todo el periodo de estudio, obteniendo promedios mensuales y se observaron 24 cladodios, un cladodio por metro lineal. Para registrar la presencia y/o nivel de infestación de *D. opuntiae*, se utilizó como base la escala propuesta por Vanegas *et al.* (2010), en la cual se mide el nivel de infestación por el porcentaje de área cubierta por colonias de hembras adultas. Las escalas de infestación fueron las siguientes:

- (0) Sin infestación o sin presencia de hembras adultas.
- (1) Infestación ligera= menos de 25% del cladodio.
- (2) Infestación media= hasta un 50% del cladodio
- (3) Infestación alta= hasta un 75% del cladodio
- (4) Infestación severa= más del 75% del cladodio

En el caso de los coccinélidos, se observó la presencia de adultos en el cladodio y se registró la abundancia y las especies encontradas.

Los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis de correlación no paramétrica de Spearman en el programa estadístico SPSS (Versión 21) para determinar la

influencia de los factores. Las variables evaluadas fueron el porcentaje de infestación de la grana, abundancia y presencia de insectos benéficos, además de su comportamiento en las distintas condiciones ambientales.

### **5.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

En los análisis de resultados de la correlación de Spearman para la variable “Nivel de infestación”, se tuvo una correlación negativa moderada débil con la temperatura; y correlaciones positivas fuertes con insectos benéficos, humedad relativa y precipitación. Con la variable “Insectos benéficos” se presentó una correlación positiva débil con temperatura, y correlaciones positivas fuertes con nivel de infestación, humedad relativa y precipitación. La variable “Temperatura” tuvo una correlación negativa moderada débil con humedad relativa y nivel de infestación, y una correlación positiva moderada con precipitación e insectos benéficos; y la variable “Humedad” presentó una correlación positiva fuerte con nivel de infestación, insectos benéficos y precipitación, y una correlación negativa moderada débil en temperatura. La variable “Precipitación” mostro una correlación positiva moderada en temperatura y correlaciones positivas con nivel de infestación, insectos benéficos y humedad (Cuadro 11).

Cuadro 11. Correlación de Spearman del nivel de infestación, insectos benéficos y factores climáticos.

		Nivel de Infestación	Insectos Benéficos	Temp	H.R.	Precipitación
<b>Nivel de Infestación</b>	Coefficiente de correlación	1.000	.850**	-.084	.908**	.767*
	Sig. (bilateral)		.004	.831	.001	.016
<b>Insectos Benéficos</b>	Coefficiente de correlación	.850**	1.000	.351	.790*	.900**
	Sig. (bilateral)	.004	.	.354	.011	.001
<b>Temperatura</b>	Coefficiente de correlación	-.084	.351	1.000	-.080	.510
	Sig. (bilateral)	.831	.354		.838	.160
<b>H. R.</b>	Coefficiente de correlación	.908**	.790*	-.080	1.000	.765*
	Sig. (bilateral)	.001	.011	.838		.016
<b>Precipitación</b>	Coefficiente de correlación	.767*	.900**	.510	.765*	1.000
	Sig. (bilateral)	.016	.001	.160	.016	

\*\*La correlación es significativa al nivel 0.01 (bilateral).

\* La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

También se obtuvo como resultado una correlación positiva fuerte entre Infestación de grana e Insectos benéficos. Lo que significa que cuando la infestación va en aumento, empieza la presencia de insectos benéficos y va aumentando la densidad de estos conformes aumenta la plaga. El mes en donde se presentó la mayor presencia de *D. opuntiae* fue agosto, en donde también se observó la mayor presencia de entomófagos (Figura 8).

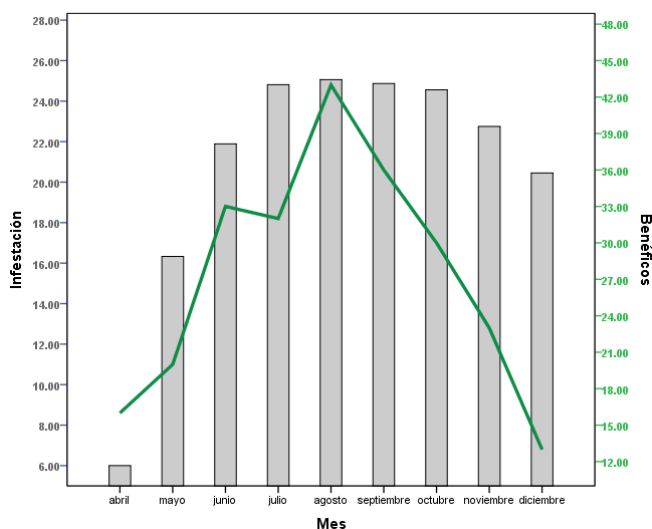


Figura 8. Correlación entre el nivel de infestación y los insectos benéficos

También se observó que cuanto se presentan lluvias y hay mayor humedad relativa, se incrementa la densidad de grana siéndole favorable estas condiciones lo cual se muestra en las Figuras 9 A y B. La temperatura está relacionada con la frecuencia y densidad en la que se puede ir presentando y aumentando la grana, esto de la mano con la humedad y precipitación, pero a diferencia de esta última, la precipitación y temperatura no reflejan un cambio drástico cuando ya se encuentra establecida la grana. La temperatura cumple el factor de aumento de densidad en condiciones cálidas a altas, pero cuando se presentan bajas temperaturas no se observa algún daño considerable a la plaga, lo cual se observa en la Figura 9 C.



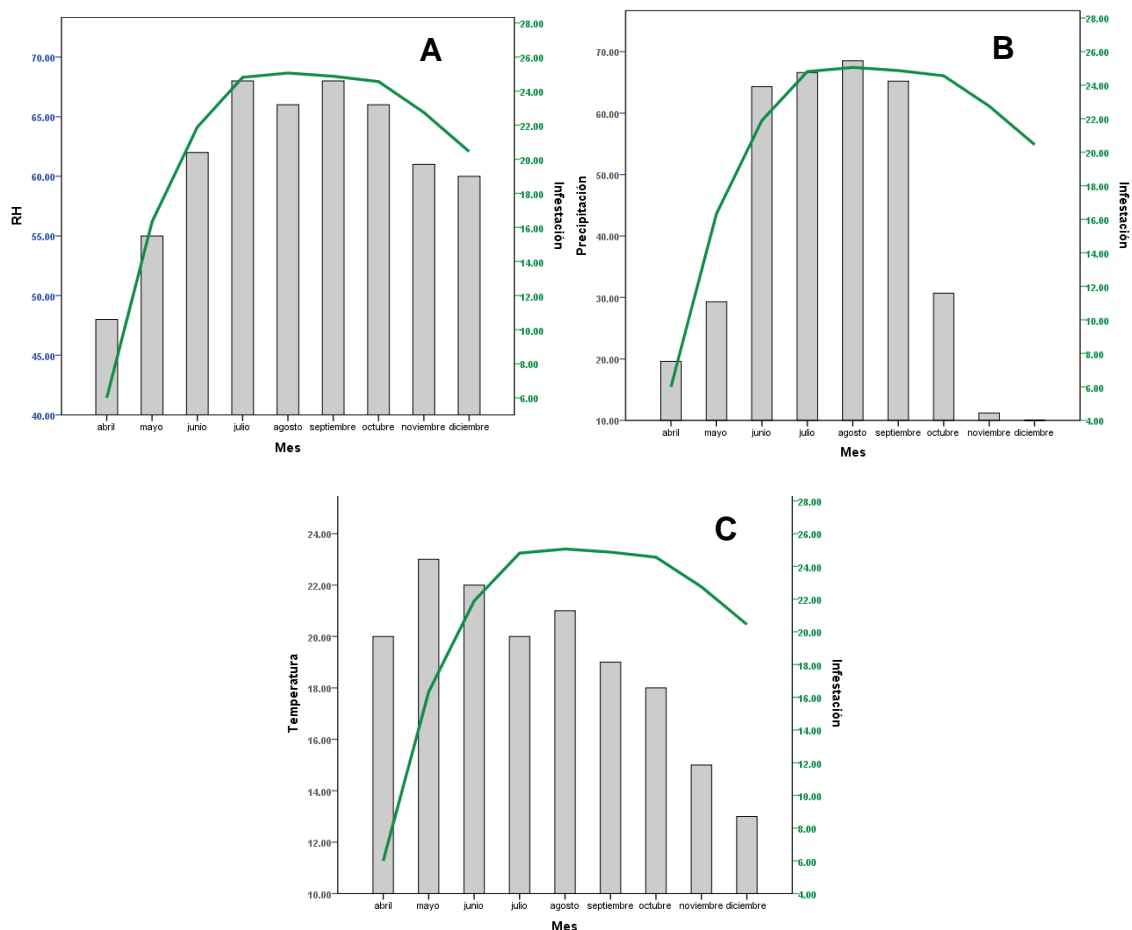


Figura 9. Nivel de infestación correlacionada con A) humedad relativa, B) precipitación y C) temperatura.

Las condiciones climáticas de humedad relativa y precipitación fueron favorables para la presencia y aumento de densidad (Figuras 10B y 10C). Pero se empezó a observar una disminución a partir del mes de septiembre, lo cual está ligado a una baja escalonada de temperatura, y el insecto benéfico se resguarda de estas condiciones climáticas (Figura 10A).

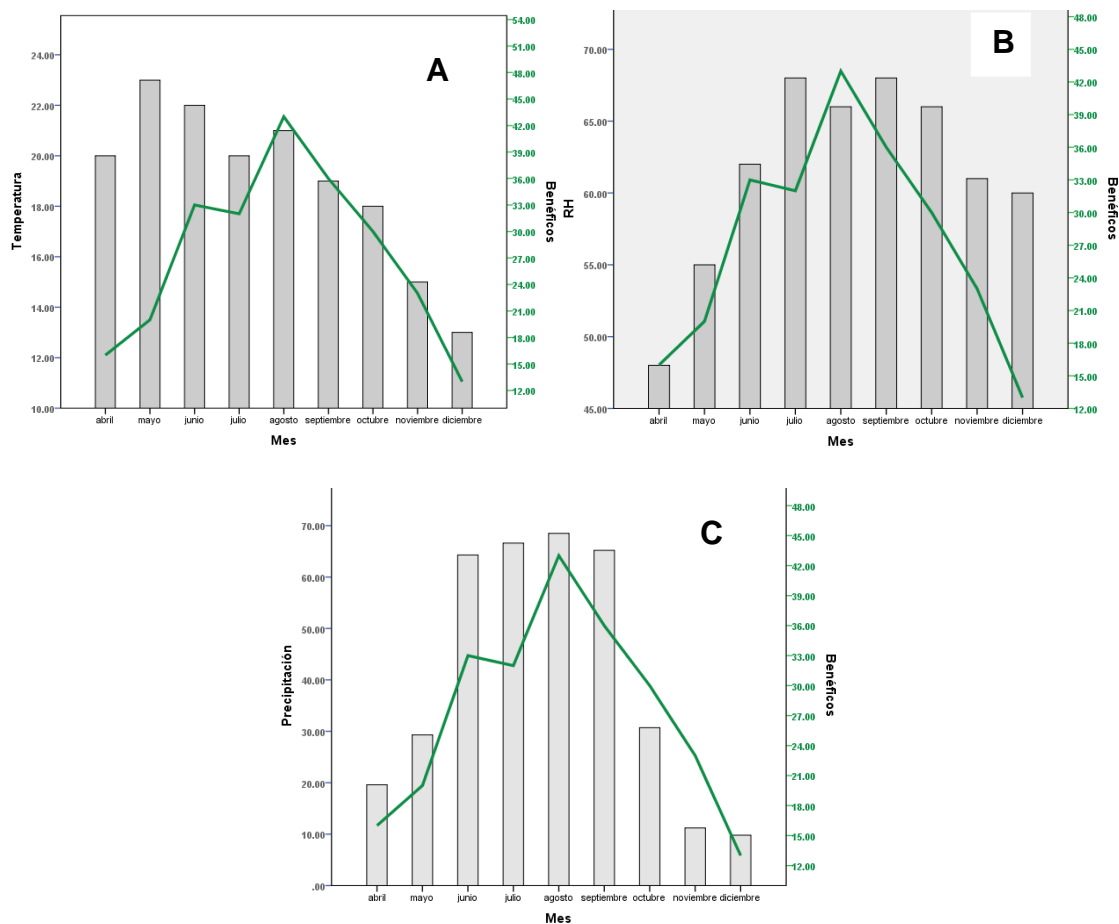


Figura 10. Insectos benéficos correlacionado con A) temperatura, B) humedad relativa y C) precipitación.

Durante el tiempo de estudio, se presentó un promedio máximo del 25.06 % de presencia de *D. opuntia*, el cual fue denominado porcentaje de infestación. En esa época se presentaron en total 246 coccinélidos, en los que fueron: *H. convergens* con 84 especímenes, *H. trifurcata* con 80 especímenes, *C. cacti* con 55 especímenes y *E. childreni guexi* con 27 especímenes.

El mínimo porcentaje de humedad relativa se presentó en el mes de abril con un 48% y el más alto en julio con 68%. A partir del mes junio hasta septiembre se mantuvo una precipitación en promedio de 66.15 mm. Las temperaturas registradas durante

los meses de abril a diciembre fueron las siguientes: Las temperaturas máximas fueron 30.1°C, 31.8°C, 28.8°C, 27.6°C, 28.7°C, 26.2°C, 25.3°C, 23.1°C y 22°C y las mínimas fueron 9.4°C, 14.4°C, 15.6°C, 13.6°C, 14.2°C, 13.3°C, 12.3°C, 9.7°C y 5.7°C. Las temperaturas medias: 20°C, 23°C, 22°C, 20°C, 21°C, 19°C, 18°C, 15°C, 13°C, respectivamente, estas corresponden al municipio de Soledad de Graciano Sánchez del estado de San Luis Potosí, México.

La familia Coccinelidae posee aproximadamente unas 6000 especies que son reconocidas a nivel mundial, tienen importancia por sus hábitos depredadores. Su estudio a nivel mundial y nacional son aún escasos, por lo que se cuenta con pocas investigaciones sobre su diversidad, biología, distribución y efectividad en plagas (Trejo y Nestor, 2012). Actualmente no se cuenta con suficiente información sobre la dinámica poblacional de *E. childreni guexi*, ni sobre su biología y comportamiento, algunos autores lo han descrito, pero no han mencionado su participación en la dinámica poblacional en conjunto con *D. opuntiae*.

De los cuatro coccinélidos encontrados en la zona de estudio, se tiene coincidencia con Vanegas *et al.*, (2015) en que *H. trifurcata* es de uno de las especies más frecuentes y con mayor abundancia que tienen potencial como enemigo natural, y que también incrementa su densidad junto con su presa *D. opuntiae*. También Aldama *et al.*, (2005), mencionan a *H. trifurcata* como uno de los depredadores más abundantes en parcelas de nopal y su dinámica poblacional es semejante a la de *D. opuntiae*.

Las características que presenta *C. cacti*, lo favorecen en su función como enemigo natural, sus tasas de supervivencia y de reproducción le permiten incrementar su tamaño poblacional y favorece el consumo de grana (Flores *et al.*, 2013).

Chura y Bedregal (2018), en su trabajo realizado sobre fluctuación poblacional en alfalfa, hallaron a *H. convergens* en mayor cantidad entre los meses de agosto y noviembre, pero mencionan que éste coccinélido se presentó durante todo el ciclo, lo cual concuerda con nuestro resultado, porque este coccinélido es más generalista y abundante enemigo natural, también se concuerda en lo que estos mismo autores reportaron que en condiciones bajas de temperatura disminuye la presencia de coccinélidos.

Norris y Kogan (2000), mencionan que la intensidad de la lluvia es un factor no considerado el cual puede afectar las poblaciones de enemigos naturales, pero en nuestro estudio no hubo afectaciones por dichas lluvias, ya que el experimento se llevó a cabo en condiciones semicontroladas bajo un macro túnel. Por otro lado, la humedad se menciona como factor que alarga el ciclo de vida de *D. opuntiae* (Flores, 1995), lo cual concuerda con nuestros resultados, ya que se obtuvo una correlación alta con este factor, es decir, entre más humedad se presentaba, mayor era la presencia de la plaga.

Un factor fundamental en los procesos de población relacionado con presencia y abundancia de insectos es la temperatura, en la cual *D. opuntiae* tiene una estrecha relación positiva entre altas temperaturas con su desarrollo y su dispersión entre el cultivo (Régniere *et al.*, 2012). La cual significa que a mayor temperatura mayor presencia de la grana, y junto con la alta humedad la dispersión de esta en los

cladodios, pero algunos autores como Moran *et al.* (1987), y Zimmermann y Granatta (2002) reportaron lo contrario, es decir, que, en altas temperaturas y precipitación, se muestra un incremento de humedad relativa la cual afecta el desarrollo *D. opuntiae*, eliminando el tamaño de colonias y afecta directamente a las ninfas. En la investigación de Vanegas *et al.*, (2015), se concuerda por lo mencionado de la humedad relativa, mostrando valores positivos a las poblaciones y con la precipitación mostrando valores negativos, de los cuales se concluye que estos factores son adversos para el desarrollo de *D. opuntiae* pero que influyen en la presencia y abundancia de enemigos naturales.

Las poblaciones de insectos son sensibles a las condiciones de temperatura, precipitación y humedad, las cuales afectan el crecimiento y supervivencia (Chura y Bedregal, 2018). Esto se observó en presencia de insectos benéficos, en cuanto la temperatura iba disminuyendo, también iba a la baja la densidad y presencia de los insectos benéficos, afectándolos únicamente a ellos, ya que la grana se mantuvo presente.

La importancia benéfica de los coccinélidos para la agricultura es de suma importancia entre las cuales destacan *H. convergens*, *H. trifurcata*, *C. cacti* y *E. childreni guexi*, siendo un factor de mortalidad importante para áfidos, escamas y otras plagas de cuerpo blando, sin embargo, hace falta investigar más su comportamiento dentro de un control biológico y estudiar también el impacto de otras posibles especies que puedan fungir como controladores de plagas en cultivo (Flores y Salas, 2004; González y Almeida, 2017).

#### 5.4. CONCLUSIONES

Los resultados indican que los enemigos naturales de *D. opuntiae* están correlacionados con su población, ya que se observó que cuando hay mayor densidad de plaga también aumenta la cantidad de depredadores. Los factores climáticos, pueden ser determinantes en la reproducción y aumento considerable de *D. opuntiae* y a consecuencia de esto también a la presencia de los coccinélidos, siendo un factor importante la temperatura para la conservación de estos enemigos presentes en nopal verdura.

#### 5.5. BIBLIOGRAFÍA

- Aldama, A. C. C., Llanderal, C. M., Soto, H., y Castillo, M. L.E. 2005. Producción de grana cochinilla (*Dactylopius coccus* Costa) en plantas de nopal a la intemperie y en micro túneles. *Agrociencia* 39: 161-171.
- Ascencio C., D. O., Alvarado G., O. G., Lara Á., J. P. Jarquín G., R, y Ávila R., V. 2020. Caracterización de coccinélidos depredadores (Coleóptera: Coccinellidae) en un sistema agroecológico semidesértico. *Folia Entomológica Mexicana* 6: 1-8.
- Ascencio C., D. O., Jarquín G., R., y Lara Á., J. P. 2018. Identificación de coccinélidos nativos de San Luis Potosí, para el control biológico de *Dactylopius* spp. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 9: 1283-1287.
- Chura, A. y Bedregal, R. 2018. Identificación y fluctuación poblacional de especies de la subfamilia Coccinellinae (Coleoptera: Coccinellidae) en campos de alfalfa

- en Characato, Arequipa, Perú. *Revista Chilena de Entomología* 44(4): 397-406.
- CONAGUA. Comisión Nacional del Agua. Servicio Meteorológico Nacional, <https://smn.conagua.gob.mx/es/>
- Cruz R., J. A., González M. E., Villegas G. A. A., Rodríguez R., and Mejía L. F. 2016. Autonomous biological control of *Dactylopius opuntiae* (Hemiptera: Dactylopiidae) in a prickly pear plantation with ecological management. *Environmental Entomology* 45:642-648.
- Flores A., Olvera H., Rodríguez S. y Barranco J. 2013. Predation Potential of *Chilocorus cacti* (Coleoptera: Coccinellidae) to the Prickly Pear Cacti Pest *Dactylopius opuntiae* (Hemiptera: Dactylopiidae). *Neotropical Entomology* 42: 407-411.
- Flores, V. C. A. 1995. Nopalitos, production processing and marketing Agroecology, cultivation and uses of cactus pear. In: Barbera G., P. Inglese and E. Pimienta, B. (Eds.). FAO Plant Production and Protection. Paper 132. Pp 92-99.
- Flores, M. S., y Salas, A. M. D. 2004. Coccinélidos (Coleóptera: Coccinellidae) del estado de Guanajuato en la colección Leopoldo Tinoco Corona de la Universidad de Guanajuato. *Acta Universitaria* 14: 8-16.
- González, G., y Almeida, L. M. 2017. Sobre la taxonomía de los *Chilocorini* Mulsant (Coleoptera: Coccinellidae) en América del Sur. Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa 61: 7–22.

- Milonas, P. G. Kontodimas D. C. and Martinoi, A. F. 2011. A predator's functional response: Influence of prey species and size. *Biological Control* 59: 141-146.
- Moran, V. C., Hoffmann, J.H, and Basson, N. C. J. 1987. The effects of simulated rainfall on cochineal insects (Homoptera: Dactylopiidae): colony composition and survival on cactus cladodes. *Ecological Entomology* 12: 51-60.
- Morón R., M.A. y Terrón, R.A. 1988. Entomología Práctica. Publicación 22. Instituto de Ecología A.C. México, D.F. 504.
- Norris, R. F. and Kogan, M. 2000. Interactions between weeds, arthropod pests, and their natural enemies in managed ecosystems. *Weed Science* 48: 94-158.
- Perfecto, I., Vandermeer, J., y Philpott, S. M. 2011. Complejidad ecológica y el control de plagas en un cafetal orgánico: develando un servicio ecosistémico autónomo. *Agroecología* 5: 41-51.
- Pervez A., O. 2005. Functional responses of coccinellid predators: An illustration of a logistic approach. *Journal of Insect Science* 5: 5.
- Portillo, L. 2008. *Dactylopius opuntiae*: una especie en peligro de extinción'. In: Llanderal, C., Zetina, D. H., Vigueras, A. L., Portillo, L. (Eds.). Grana Cochinilla y Colorantes Naturales. Colegio de Postgraduados. México. 69-73.
- Régniere, J., Powell, J., Bentz, B., and Nealis, V., 2012. Effects of temperature on development survival and reproduction of insects: Experimental design, data analysis and modeling. *Journal Insect Physiology* 58:634-647.
- Rodríguez, L. E., Lomelí, F. J. R., Vanegas, R. J. M. 2010. Enemigos naturales de la grana cochinilla del nopal *Dactylopius coccus* Costa (Hemiptera: Dactylopiidae). En Portillo L. y Vigueras, A. L. (Eds.). Conocimiento y



- Aprovechamiento de la Grana Cochinilla. Colegio de Postgraduados. Estado de México, México. 101-112.
- Trejo, L. A. G., y Néstor, A. J. I. 2012. Nuevos registros de Coccinellidae para el estado de Morelos, México. *Acta Zoológica Mexicana* 28(3): 640-643.
- Vanegas, R. J. M., Lomeli, F. J. M., Rodríguez, L. E., Mora, A. G., and Valdez J. M. 2010. Enemigos naturales de *Dactylopius opuntiae* (Cockerell) en *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller en el centro de México. *Acta Zoológica Mexicana* (n.s.) 26: 415-433.
- Vanegas, Ri. J. M., Lomeli, F. J. R., Rodríguez, L. E., Pérez, P. A., González, H. H., and Marín, J. A. 2015. *Hyperaspis trifurcata* (Coleoptera: Coccinellidae) and its parasitoids in Central Mexico. *Revista Colombiana de Entomología* 41: 194-199.
- Zimmermann, H. G., and Granata, G. 2002. Insect pest and diseases. **In:** Nobel, P.S. (Ed.). *Cacti: Biology and Uses*. University of California Press. California USA. 235-254.